

小学校理科授業における科学的な思考力の
育成に関する指導法の実証的研究
－4QS (The Four Question Strategy) に
よる仮説設定能力とプロセス・スキルズ
の育成の手立て－

2016

兵庫教育大学大学院
連合学校教育学研究科
教科教育実践学専攻
(上越教育大学)

山田 貴之

目次

序章 問題の所在，研究の目的及び方法	4
1. 理科教育の現代的課題としての科学的な思考力	4
2. 科学的な思考力を育成する問題解決の活動	10
3. 科学的な思考力としてのプロセス・スキルズの重要性	15
4. 問題解決の背景となる科学的推論の方法と仮説	18
5. 仮説設定に関する先行研究	21
6. 研究の目的及び方法	23
7. 本論文の構成	25
引用文献	28

研究1 「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデルの検討

第1章 小学生の理科における「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデル	35
1. 問題の所在と目的	35
2. 研究の方法	37
3. 結果	43
4. 考察	53
5. 本章のまとめ	55
注，及び引用・参考文献	58
資料	62

研究 2 4QS の適用の可能性の検討

第 2 章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における 4QS の適用の可能性	64
1. 問題の所在と目的	64
2. 研究の方法	69
3. 結果と考察	80
4. 本章のまとめ	100
注, 及び引用・参考文献	101

研究 3 4QS を用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導の効果の検証

第 3 章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果 — 第 6 学年「燃焼の仕組み」を事例として —	105
1. 問題の所在と目的	105
2. 研究の方法	108
3. 結果と考察	118
4. 本章のまとめ	130
引用文献	134
資料	137

第4章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が科学的な知識の理解に与える効果	
－第5学年「振り子の運動」を事例として－	141
1. 問題の所在と目的	141
2. 研究の方法	143
3. 結果と考察	146
4. 本章のまとめ	147
引用文献	150
資料	153
第5章 因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が考察の記述能力の育成に与える効果	
－第6学年「てこの規則性」を事例として－	155
1. 問題の所在と目的	155
2. 研究の方法	159
3. 結果と考察	168
4. 本章のまとめ	173
引用文献	176
終章 本研究のまとめ及び今後の課題	179
1. 本研究のまとめ	179
2. 理科教育における現代的課題としての科学的な思考力の育成に有効な要素と教育実践への示唆	187
3. 今後の課題	189
引用文献	190
附記	192
謝辞	193

序章 問題の所在, 研究の目的及び方法

1. 理科教育の現代的課題としての科学的な思考力

2007年に一部改正された学校教育法第30条第2項¹⁾には、以下のことが明記されている。

生涯にわたり学習する基盤が培われるよう、基礎的な知識及び技能を習得させるとともに、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくみ、主体的に学習に取り組む態度を養うことに、特に意を用いなければならない。

(下線は筆者が加筆した)

ここには、「基礎的な知識・技能」、「知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等」、「主体的に学習に取り組む態度」といった、学力の重要な3つの要素（以下、「学力の三要素」と表記）が示されている。

このように、学力が要素として示されるようになった背景には、学力に関する国内外の調査結果に共通する日本の児童・生徒が抱える課題がある。

国内の主な学力調査としては、平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査が挙げられる。この調査の趣旨は、「小学校及び中学校の学習指導要領（1999年告示）に基づく

教育課程の実施状況について、学習指導要領における各教科の目標や内容に照らした学習の実現状況を把握し、今後の教育課程や指導方法等の改善に資する。」²⁾ ことである。

この調査の結果から、「見通しや結果の処理を重視した観察・実験の一層の推進」、「日常生活との関連を図った指導の充実」、「実験に基づき科学的な思考を深めさせる指導の一層の推進」、「グラフ指導等、観察、実験の技能の指導の充実」、「自然事象への関心を高め、学習内容相互の関連に気付かせ、理解を深めさせる指導の充実」などに課題があることが明らかとなった^{3) 4)}。

また、国外の主な学力調査としては、OECD（経済協力開発機構）によるPISA調査（学習到達度調査）が挙げられる。PISA調査は、「義務教育修了段階の15歳児が持っている知識や技能を、実生活の様々な場面で直面する課題にどの程度活用できるかを評価すること」⁵⁾を目的とし、これまでに5回（2000年、2003年、2006年、2009年、2012年）行われている。

2000年及び2009年調査では読解力が、2003年及び2012年調査では数学的リテラシーが、2006年調査では科学的リテラシーが調査の主要領域であった。特に、2006年調査は科学的リテラシーに関する詳細な概念定義が示され⁶⁾、日本の教育に最も大きな影響を与えた。この定義において、科学的リテラシーは「状況と文脈」、「科学的能力」、「科学的知識」、「科学に対する態度」の4つの枠組みから構成されている。日本の生徒の調査結果⁷⁾を概観すると、「科学的リテラシー」の平均得点は531点であり、

OECD 加盟国の平均得点（500 点）を上回っている（表序 - 1）。しかしながら、「科学的な能力」のうち、「科学的な証拠を用いること」領域は 544 点であるのに対し、「科学的な疑問を認識すること」領域は 522 点、「現象を科学的に説明すること」領域は 527 点と、他の国と比較して低い傾向にあることが示された。

表序 - 1 科学的リテラシーに関する平均得点の
国際比較

	科学的リテラシー 全体	得点	「科学的な疑問を 認識すること」領域	得点	「現象を科学的に 説明すること」領域	得点	「科学的証拠を 用いること」領域	得点
①	フィンランド	563	フィンランド	555	フィンランド	566	フィンランド	567
②	香港	542	ニュージーランド	536	香港	549	日本	544
③	カナダ	534	オーストラリア	535	台湾	545	香港	542
④	台湾	532	オランダ	533	エストニア	541	カナダ	542
⑤	エストニア	531	カナダ	532	カナダ	531	韓国	538
⑥	日本	531	香港	528	チェコ	527	ニュージーランド	537
⑦	ニュージーランド	530	リヒテンシュタイン	522	日本	527	リヒテンシュタイン	535
⑧	オーストラリア	527	日本	522	スロベニア	523	台湾	532
⑨	オランダ	525	韓国	519	ニュージーランド	522	オーストラリア	531
⑩	リヒテンシュタイン	522	スロベニア	517	オランダ	522	エストニア	531

注) 黄色は非 OECD 加盟国を示す。

出典：文部科学省（2007）「OECD 生徒の学習到達度調査（PISA）～2006 年調査国際結果の要約～」p. 6. より一部抜粋。

このような我が国の理科教育における現代的課題を受けて、2008年1月の中央教育審議会の答申では、理科の改善の基本方針について、「科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から、学年や発達の段階、指導内容に応じて、例えば、観察・実験の結果を整理し考察する学習活動、科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動、探究的な学習活動を充実する方向で改善する。」⁸⁾ことが明記された。

このことから、科学的な思考力を育成するための指導法を考案することは、喫緊の課題といえる。

さらに、世界の教育改革の動向を鑑みると、欧米を始めとする諸外国では、1990年代以降、断片化された知識や技能ではなく、人間の全体的な能力をコンピテンシーとして捉えた教育改革が定着してきた⁹⁾。そして、これらの改革の源流は大きく2つある。1つは、生徒の学習到達度調査(PISA)の基となった経済協力開発機構(OECD)の「コンピテンシーの定義と選択」(DeSeCo)プロジェクトであり、もう1つは、北米を中心に世界的ICT企業なども加わって研究が進められている「21世紀型スキル」である¹⁰⁾。我が国でも、内閣府による「人間力」(2003)、厚生労働省による「就職基礎能力」(2004)、経済産業省による「社会人基礎力」(2006)、文部科学省による「学士力」(2008)など、より汎用的な認知・社会スキルの育成が求められてきた¹¹⁾。このように、21世紀に求められる汎用的な資質・能力を定義し、それを基にカリキュラムを開発する教育改革は世界的な潮流といえる。

これらのことを踏まえ、国立教育政策研究所は、21世紀型能力を提案した。21世紀型能力は、「学力の三要素」（①基礎的・基本的な知識・技能の習得、②知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等、③学習意欲）を、課題を解決するための資質・能力という視点で再構成したものである¹²⁾。図序-1に示したように、「深く考える（思考力）」を中核として、それを支える「道具や身体を使う（基礎力）」、その使い方を方向付ける「未来を創る（実践力）」から成る三層構造で構成されている¹³⁾。こうした位置付け方は、「学力の三要素」と同義と解釈できる。加えて、教科としての理科が21世紀型能力の育成に最も資することができるのは、「深く考える（思考力）」であり、その中でも特に、問題解決の能力であると考えられる。

以上より、理科教育においては、問題解決の活動を通して科学的な思考力を育成することが重要な意味をもつといえる。



図序 - 1 21世紀型能力

出典：国立教育政策研究所（2015）「平成26年度プロジェクト研究調査研究報告書 資質・能力を育成する教育課程の在り方に関する研究報告書1～使って育てて21世紀を生き抜くための資質・能力～」p.93.より抜粋。

2. 科学的な思考力を育成する問題解決の活動

前節において、科学的な思考力を育成するためには、問題解決の活動が重要な意味をもつことを述べた。しかし、科学的な思考力の捉え方については、様々な見解が存在する。例えば、角屋¹⁴⁾は、「思考とは、ある目標の下に、生徒が既習経験をもとにして対象に働きかけ種々の情報を得て、それらを既存の体系と意味付けたり、関連付けたりして、新しい意味の体系を創り出していくことと考える。」と述べている。川崎¹⁵⁾は、「科学者の思考や方法を基にして捉えられてきており、一般的には科学的な探究や仮説検証における思考力」だとしている。磯崎¹⁶⁾は、「科学的知識の獲得や問題解決の過程において適用される思考のことをさす。」と述べている。村山¹⁷⁾は、「客観的な根拠に基づいて、多様な視点から思考し、判断し、実行することができる力」と述べている。原田¹⁸⁾は、「自然の事物・現象に問題を持ち、それを筋道を通して考え、得られた結論を事実即して確かめ、応用・発展させていくような過程で行われる思考活動である。」と述べている。さらに、科学的な思考力を論理的思考、実証的思考、合理的思考、関係的思考、直感的思考、拡散的思考、創造的思考、分析的思考、総合的思考、帰納的思考、演繹的思考に分類している。羽村¹⁹⁾は、「自然の事物・現象の中に問題を見だし、観察、実験などを行うとともに、事象を実証的、論理的に考えたり、分析的、総合的に考察したりして問題を解決する能力」としている。国立教育政策研究所²⁰⁾は、科学的な思考・表

現における評価の観点を「自然の事物・現象から問題を見いだし, 見通しをもって事象を比較したり, 関係付けたり, 条件に着目したり, 推論したりして調べることによって得られた結果を考察し表現して, 問題を解決している。」と明記している。

これらの先行研究を参考に, 本研究における科学的な思考力を以下のように定義する。

提示された自然事象をじっくり観察し, 見いだした問題を基に課題をつくり, その課題を解決するための実験の計画を立て, 導出された結果を分析的・総合的に考察したり, 新たに直面した事象を既知の科学的な知識などを用いて論理的に説明したりする能力

併せて, 本研究における科学的な思考力を構成する下位能力として, 以下の 10 個を規定する。

- ①問題を正しく把握する能力
- ②変数を制御する能力
- ③仮説を設定する能力
- ④適切な観察, 実験を計画する能力
- ⑤数量的に把握する能力
- ⑥結果を予測する能力
- ⑦筋道を通して推論する能力
- ⑧分析的・総合的に考察する能力
- ⑨原理・法則を適用する能力
- ⑩仮説や証拠に基づいて結論を導き出す能力

一方、理科における思考力の育成について角屋²¹⁾は、「子どもの科学的な思考力を育成するためには、子どもが自然事象に関して自分で目標を設定し、既存の体系と意味付けたり、関係付けたりして、新しい意味の体系を構築していくという操作が必要になる。」と述べている。森本²²⁾は、「子どもによる問題の見いだしが、見通しをもった観察、実験につながり、彼ら主導による問題解決を生み出し、思考力・判断力・表現力を結実させる源泉となる。」と述べている。村山²³⁾は、「理科教師が指示した通りに実験をさせるのなら、学習者にとってそれは単なる作業でしかない。学習者は、実験を通して現象の探究や仮説の検証などに取り組んでいるわけではない。どちらの場合にも、学習者は科学的な思考を行っていないのだから、科学的思考力が身に付くことは期待できない。」と指摘し、科学的な思考となるような仕掛けの必要性を示唆している。

2008年に告示された小学校学習指導要領解説理科編²⁴⁾では、学年を通して育成する問題解決の能力が示されている。具体的には、第3学年では比較しながら調べること、第4学年では関係付けながら調べること、第5学年では条件に目を向けながら調べること、第6学年では推論しながら調べることが明記されている。これは、学年を通して示された問題解決の能力を育成する活動を行うことで、科学的な思考力を育成しようとするものである。また、問題解決の能力を育成する過程については、「児童が自然の事物・現象に親しむ中で興味・関心をもち、そこから問題を見いだし、予想や仮説の基に観察、実験な

どを行い, 結果を整理し, 相互に話し合う中から結論として科学的な見方や考え方をもちよくなる過程」としている²⁵⁾。

これらの知見に共通することは, 理科授業において, 科学的な思考力を育成するためには, 児童が自ら問題を見だし, 予想や仮説をもって実験を行い, 結果を考察し結論を導出するといった, 主体的な問題解決の活動をより一層大切にすることがあるということである。

また, 理科における問題解決の過程について, 角屋²⁶⁾は, 次のように整理している。

- ①問題を見いだす場面
- ②仮説を設定する場面
- ③見いだした問題を解決するための実験方法を発想する場面
- ④発想した実験方法を実行する場面
- ⑤得られた結果を仮説や実験方法と関係付けて考察する場面
(⑤で得られた結果が仮説や実験方法と一致しなかった場合には, 以下の⑥～⑨の過程が必要となる)
- ⑥新たな仮説を設定する場面
- ⑦新たな実験方法を発想する場面
- ⑧新たに発想した実験方法を実行する場面
- ⑨新たに得られた結果を仮説や実験方法と関係付けて考察する場面
- ⑩まとめる場面

さらに, 上記の①～④の過程について角屋は, 仮説を立て, その仮説を検証するための実験方法を考え, 実行することであるため, 科学的な思考力を育成する上で, 特に重要な過程であるとしている。

以上より, 科学的な思考力の育成には, 問題解決の過程において, 予想・仮説の設定, 検証計画の立案, 観察・実験の実施が重要な要素であることが示唆される。

3. 科学的な思考力としてのプロセス・スキルの重要性

理科教育における問題解決学習の意義について、大高²⁷⁾は、次の3点を挙げている。第1に、理科授業の内容、特に概念などの理解を促進する手段としての意義。第2に、理科授業の成果として期待される科学の方法の習得とほぼ同義に捉えられ、問題解決能力の育成やそのために問題解決に取り組むそれ自体が意義をもっていること。第3に、現代社会の問題を解決する決定能力としての意義である。

これらのことを踏まえ、大高²⁸⁾は、「理科授業の中で扱われる問題解決に関して言えば、問題解決が科学のプロセス・スキルズを必要とし、問題解決が測定され得るということについて、そうした研究はかなりの一致を示している。」と述べている。小林²⁹⁾も同様に、「理科教育における問題解決学習は、科学の方法に基づいて探究することにあるといえる。」としている。

科学の方法という言葉が、日本の理科教育において使われ始めたのは、1969年に告示された中学校指導書理科編³⁰⁾からである。そこでは、理科の目標の1つに「自然の事物・現象の中に問題を見だし、それを探究する過程を通して科学の方法を習得させ、創造的な能力を育てる」ことを挙げ、探究能力の育成が重要であることが示された。

この科学の方法が日本に導入された背景には、1950年代にアメリカで始まった科学教育の現代化運動がある。この現代化運動の中で、アメリカでは様々なプロジェクトが作

られた。そのうちの1つに、米国科学振興協会 (American Association for the Advancement of Science: AAAS) が提唱した、13の探究の要素的技法 “Science – A Process Approach” (SAPA) がある³¹⁾。これはプロセス・スキルズとも呼ばれ、探究の要素的技法を習得することが探究能力の育成において重要であるとされた^{32) 33)}。そして、プロセス・スキルズ (SAPA) は、「観察する」、「時間／空間の関係を用いる」、「分類する」、「数を使う」、「測定する」、「伝達する」、「予測する」、「推論する」の基礎的プロセス、「変数を制御する」、「データを解釈する」、「仮説を設定する」、「操作的に定義する」、「実験する」の総合的プロセスに分類されていた³⁴⁾。

これらは、探究活動を行う際に使用する思考の方法であり、原田³⁵⁾は、「広義では、SAPAの13個のプロセス・スキルズも科学的な思考力とみなすことができる。」としている。また、先述した1969年告示の中学校指導書理科編³⁶⁾において、プロセス・スキルズを教えていく必要性が述べられ、科学の方法として14の要素の習得が目指されている。具体的には、「観察すること」、「測定すること」、「事象を時間・空間に関連付けること」、「分類すること」、「記録し伝達すること」、「予測（予想）すること」、「推論（推理）すること」、「操作的定義をすること」、「条件を制御すること」、「データを解釈すること」、「モデルをつくること」、「仮説をつくること」、「実験すること」、「科学的思考と科学の方法」である。そして、これら14の要素のうち、「モデルをつくること」と「科学的思考と科学の方法」以外の12の要素は、SAPAにおける13のプロセ

ス・スキルズと同義であると解釈できる。

柴³⁷⁾は、問題解決の能力には、科学における思考の方法である「比較する」、「予想を立てる」等のプロセス・スキルズが含まれていると述べており、プロセス・スキルズは問題解決をしていくときの重要な能力の1つと考えられる。また、吉山・小松・稲田・小林³⁸⁾は、「それぞれの観察・実験等に含まれるプロセス・スキルズを意識化することで、学習指導要領で示された各学年の問題解決の能力の育成をより効果的に行えるようになることが期待できる。」と述べている。

以上より、児童の主体的な問題解決の活動には、SAPAのプロセス・スキルズとして表現されている科学的な思考力が重要な要素であることが示唆される。

4. 問題解決の背景となる科学的推論の方法と仮説

児童の主体的な問題解決の活動を考えるにあたり, 問題解決の背景となる科学的推論の方法と仮説の位置付けについて論じる。

科学的推論の方法として, 演繹的推論, 帰納的推論, そしてアブダクションの3つが用いられる。アブダクション(abduction)は, チャールズ・パーズが提唱した, 演繹(deduction), 帰納(induction)と並ぶ推論の基本的な形式の1つであり, 科学の方法において, 仮説を発案する際の推論の思考様式として位置付けられている³⁹⁾。

以下に, これら3つの推論の思考様式の特徴について述べる。

まず, 演繹的推論は, 「全てのAはBである。」「全てのBはCである。」「したがって, 全てのAはCである。」という, 規則と事例から結果を導き出すものである。

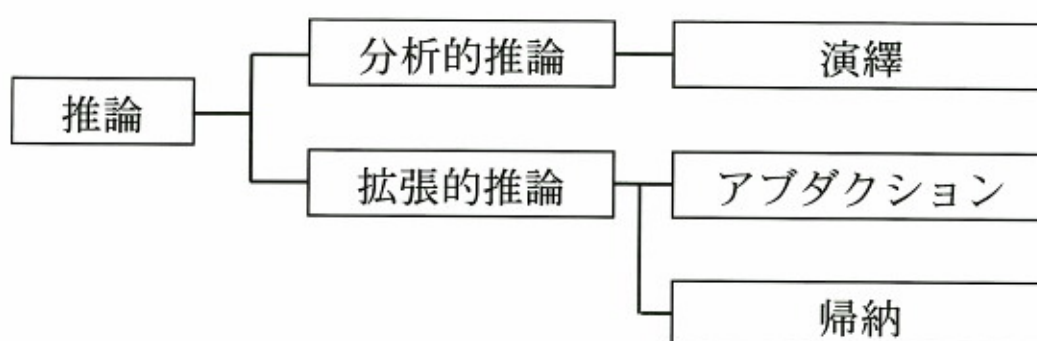
次に, 帰納的推論は, 「A₁はBである。」「A₂はBである。」「A₃はBである。」「・・・」「したがって, A_nはBである。」という, 事例と結果から規則を導き出すものである。

最後に, アブダクションは, 「AはBである。」「AがBであるのは, H(説明仮説)だからである。」という, 規則と結果から事例(説明仮説)を導き出すものである。

このように, パーズは, 推論を演繹, 帰納, 仮説形成の3つに分け, 規則と結果から事例(説明仮説)を導き出す遡及的推論型・仮説形成型の推論をアブダクションとし, 科学的探究の第一段階として位置付けている⁴⁰⁾。ま

た, パースの考える推論の概念は, 科学的探究において新しい知を創造し, 知識の拡張をもたらす拡張的機能を重視している。この拡張的機能を有する推論として, アブダクション, 帰納の2つが位置付けられている。一方, 演繹は分析的推論と呼ばれている⁴¹⁾。

図序-2は, パースの探究の論理学による推論の分類によって, 演繹, アブダクション, 帰納の3つを整理したものである。



図序-2 パースの探究の論理学による推論の分類

出典：兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科共同研究プロジェクトM(平成23-25年度)報告書(2014)「地域における理数教育活性化のための教員研究モデル・プログラムの開発・評価に関する教育実践学的研究」兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科, p.36.に基づき, 筆者作成。

森⁴²⁾は, 理科授業での探究の過程を「問題意識→予想(仮説)→解決の構想→検証(観察・実験)→結論→他への適用・一般化」という仮説演繹型の展開としている。また, 仮説について, 「自己の持つあらゆる情報を網羅し, さらに直観によって考え出される見解であり, 科学の活動では創造性の最も必要な過程である。」と述べている。ここでいう直観による見解とは, 推論の思考様式の1つであるアブダクションと捉えることができる。換言すれば, 問題解決学習を一連のプロセスとして考えた時に, このアブダクションによる推論が最も近い過程といえる。

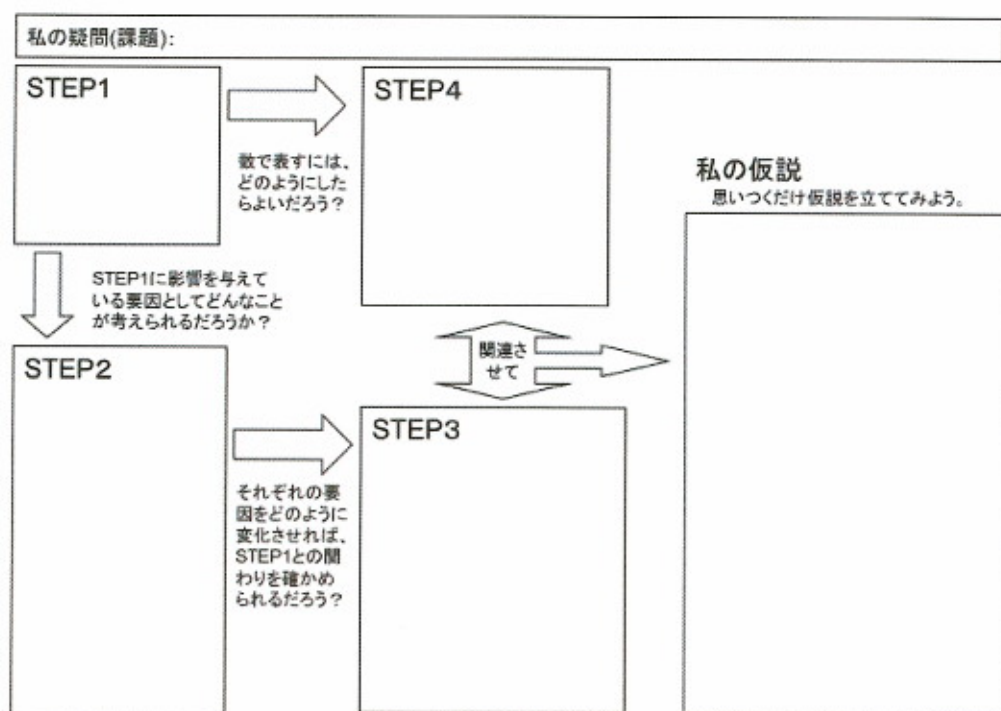
以上より, アブダクションは, 演繹, 帰納と並ぶ推論の基本的な形式の1つとして位置付けられ, 科学的探究の文脈において重要な要素であるといえる。さらに, 推論は, SAPAで示された13のプロセス・スキルズの1つであり, 2008年に告示された小学校学習指導要領解説理科編⁴³⁾においても, 第6学年で育成する問題解決の能力として示されていることから, その育成は不易の課題であると考えられる。

5. 仮説設定に関する先行研究

理科の学習において, 問題の発見から仮説の設定, その検証に至る過程を重視した授業の重要性は, 従前より指摘されてきた^{44) 45)}。また, 仮説を設定する能力に関する研究もいくつか報告されている。例えば, Quinn & Kessler⁴⁶⁾は, 「仮説形成は教えられる」, 「仮説形成の能力は, 総体的な成績や読書能力と正の相関がある」ことを指摘している。Ronnig & McCurdy⁴⁷⁾は, 生徒の問題解決の過程を調べ, 「定数と変数を探したり, 仮説を生み出し検証したりするような問題にアタックするスキルの導入と強化を徹底するべきである」としている。Cothron, Giese & Rezbe⁴⁸⁾は, 4つの質問を通して独立変数と従属変数を認識させ, これら2つの変数の因果関係を仮説として文章化する指導方略である “The Four Question Strategy” を提唱している。小林・永益⁴⁹⁾は, Cothronらの考えに基づいて仮説設定シート(以下, 4QSと表記)を開発している(図序-3)。4QSの効果については, 中学校では金子・小林^{50) 51)}, 高等学校では永益⁵²⁾, 大学では小林・永益⁵³⁾が明らかにしているが, 小学校の理科授業における効果を実践的に明らかにした研究は見当たらない。また, 永益・小林⁵⁴⁾が, 高等学校の生物I履修者を対象に, 仮説設定において重要となる独立変数の意識化と, それに関わると思われる「生徒と生き物との関わり」, 「第三者の関わり」, 「生き物に対する興味・関心」, 「本への親しみ」の4つの要因との因果関係を明らかにしている。さらに, 荒井・永益・小林^{55) 56)}は, 中学校

第2学年の生徒を対象に, 仮説設定の段階で重要となる「変数への気づき」に対して, 知的好奇心を初発とし, 自然体験やものづくりなどの科学的な体験が間接的, 直接的に影響を及ぼしていることを明らかにしている。

以上より, 独立変数と従属変数の2つの変数の因果関係を文章化した仮説を設定することは, 問題解決学習を進めていく上で重要な過程であることが示唆される。



図序 - 3 仮説設定シート (4QS) の例

出典：小林辰至・永益泰彦（2006）「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望－小学校教員志望学生の子ども頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価－」『科学教育研究』第30巻，第3号，pp.185-193. より抜粋。

6. 研究の目的及び方法

6-1. 研究の目的

これまでに述べてきた問題意識を踏まえ、本研究の目的を、小学校において、4QSによる仮説設定とプロセス・スキルズの育成に着目した理科授業を実践することで、認知的側面（現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解）への効果を明らかにすることとした。また、それらの結果に基づき、科学的な思考力の育成のための指導方法を検討し、教育実践への示唆を得ることとした。

6-2. 研究の方法

上記の目的を達成するために、本研究では、以下の3つの研究課題を設定した。

1つめの研究課題は、「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデルを検討することである。

2つめの研究課題は、研究課題1によって得られた知見を基に、4QSの適用の可能性を検討することである。

3つめの研究課題は、研究課題1及び研究課題2によって得られた知見を基に、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、認知的側面（現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解）に与える効果を検証することである。

上記の3つの研究課題を解決するために、研究の方法として、以下の3つを用いた。

第1に, 第6学年の児童を対象に質問紙調査を実施し, 「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するとともに, 諸要因の因果モデルを検討するためのパス解析, 及びパス図の作成を試みた。

第2に, 小・中学校の理科教科書(いずれも文部科学省検定済のX社の教科書)に掲載されている全ての観察・実験等の個々について4QSの適用の可能性を検討し, 「4QSを用いて作業仮説を設定」, 「4QSを用いないで説明仮説・作業仮説を設定」, 「仮説なし」の3つのカテゴリーに分類した。

第3に, 4QSの適用が可能であると判断された実験において, 授業実践及び質問紙調査を試みた。そして, 認知的側面(現象を科学的に説明する能力, 及び科学的な知識の理解)に与える効果について, 定量的かつ定性的な質問紙による事前, 事後調査を行い, 検証した。

7. 本論文の構成

本論文は、序章及び終章を含め、7つの章から構成されている。以下に本論文の構成を述べる。

序章では、本論文の研究の背景である、理科教育における科学的な思考力、及び問題解決の能力の重要性に関する文献や先行研究を調査し、未だ解決されていない問題点や研究されていない指導方略を基にした分析により、本研究の目的及び方法について述べる。

第1章は、研究課題1に位置付くものである。第1章では、第6学年の児童を対象に質問紙調査を実施し、「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するとともに、諸要因の因果モデルを検討するためのパス解析、及びパス図の作成を試みる。

第2章は、研究課題2に位置付くものである。長谷川・吉田・関根・田代・五島・稲田・小林⁵⁷⁾は、吉山・小林⁵⁸⁾が分析した“Science-A Process Approach commentary for teachers”(SAPA)の13の上位スキルと57の下位スキルを基に、新たに開発した「探究の技能」の観点から、小・中学校の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等に含まれる探究の要素的技法を類型化し、各類型の特徴を明らかにしている。これらの知見を踏まえ、第2章では、小・中学校の理科教科書(いずれも文部科学省検定済のX社の教科書)に掲載されている全ての観察・実験等の個々について4QSの適用の可能性を検討し、「4QSを用いて作業仮説を設定」、「4QSを用いないで説明仮説・作業仮説を設定」、「仮説なし」の3つのカテゴリ

一に分類することを試みる。

第3章, 第4章及び第5章は, 研究課題3に位置付くものである。第3章では, 第6学年「燃焼の仕組み」を題材として, 4QSを用いて仮説を設定させる授業実践, 及び事前, 事後調査を主とした質問紙により, 現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果を検証する。第4章では, 第5学年「振り子の運動」を題材として, 4QSを用いて仮説を設定させる授業実践, 及び事前, 事後調査を主とした質問紙により, 科学的な知識の理解に与える効果を検証する。第5章では, 第6学年「てこの規則性」を題材として, 4QSを用いた仮説設定と, 因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる授業実践, 及びワークシートの記述内容により, 考察の記述能力の育成に与える効果を検証する。

終章では, 上記の3つの研究課題について, 第1章から第5章までで述べた一連の研究成果を整理するとともに, 今後の課題について論じる。

本論文の構成を, 以下の図序-4に示す。



図序 - 4 本論文の構成

引用文献

- 1) 文部科学省 (2011) 「言語活動の充実に関する基本的な考え方」.
(<http://www.mext.go.jp/amenu/shotou/new-cs/gengo/1300857.htm>)
【最終アクセス：2015年7月22日】
- 2) 国立教育政策研究所 (2005) 「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査結果の概要」 p. 1.
(http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/H15/03001000000007001.pdf)
【最終アクセス：2015年7月22日】
- 3) 国立教育政策研究所 (2005) 「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査教科別分析と改善点(小学校・理科)」 pp. 1 - 8.
(http://www.nier.go.jp/kaihatu/katei_h15/H15/03001040020007004.pdf)
【最終アクセス：2015年7月22日】
- 4) 国立教育政策研究所 (2005) 「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査教科別分析と改善点(中学校・理科)」 pp. 1 - 7.
(http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/H15/03001040030007004.pdf)
【最終アクセス：2015年7月22日】
- 5) 文部科学省 (2007) 「OECD生徒の学習到達度調査(PISA)～2006年調査国際結果の要約～」 p. 1.

(http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/071205/001.pdf)

【最終アクセス：2015年7月22日】

6) OECD(2006). *Assessing Scientific, Reading, and Mathematical Literacy A Framework for PISA2006*. Paris: OECD, pp.20-23.

7) 前掲書5), p. 6.

8) 文部科学省(2008)「中央教育審議会答申『幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領の改善について』」pp. 88-90.

(http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/news/20080117.pdf)

【最終アクセス：2015年7月22日】

9) 国立教育政策研究所(2013)「社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則」『平成24年度プロジェクト研究調査研究報告書 教育課程の編成に関する基礎的研究報告書5』p. 13.

(<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/Houkokusho-5.pdf>)

【最終アクセス：2015年7月22日】

10) 同書

11) 同書, p. 14.

12) 同書, pp. 26-30.

13) 国立教育政策研究所(2015)「平成26年度プロジェクト研究調査研究報告書 資質・能力を育成する教育課程の在り方に関する研究報告書1～使って育てて21世紀を生き抜くための資質・能力～」pp. 93-94.

(http://www.nier.go.jp/05_kenkyu_seika/pdf_seika/h27/2-1_all.pdf)

【最終アクセス：2015年11月17日】

- 14) 角屋重樹 (2013) 「理科における『思考・判断・表現』の評価のあり方」『平成24年度研究紀要第42号 特集「思考・判断・表現」の評価のあり方Ⅱ』公益財団法人日本教材文化研究財団, pp. 4-8.
- 15) 川崎弘作 (2010) 「科学的思考力育成のための理科学習指導に関する研究」『広島大学大学院教育学研究科研究紀要』第二部, 第59号, p. 29.
- 16) 磯崎哲夫 (2003) 「教育用語辞典」ミネルヴァ書房, p. 56.
- 17) 村山哲哉 (2013) 「『自分事の問題解決』をめざす理科授業」図書文化, p. 94.
- 18) 原田周範 (2000) 「理科重要用語300の基礎知識」武村重和・秋山幹雄編, 明治図書, p. 163.
- 19) 羽村昭彦 (2006) 「高等学校理科における科学的な思考力を育成するための教材に関する研究－観察, 実験などを探究的に行う教材の開発－」『研究紀要第33号』広島県立教育センター, p. 44.
- 20) 国立教育政策研究所 (2011) 「評価基準の作成, 評価方法等の工夫改善のための参考資料 (小学校 理科)」p. 23.
- 21) 角屋重樹 (2009) 「小学校理科教育の特徴『小学校理科の学ばせ方・教え方事典改訂新装版』」教育出版, p. 16.
- 22) 森本信也 (2009) 「子どもが意欲的に考察する理科授業 小学校5年生」東洋館出版社, p. 12.

- 23) 村山功 (2005) 「科学的思考力を育成する授業づくり」
『理科の教育』54 (7), 東洋館出版社, pp. 444-447.
- 24) 文部科学省 (2008) 「小学校学習指導要領解説理科編」
大日本図書, pp. 8-9.
- 25) 同書, p. 8.
- 26) 角屋重樹 (2013) 「なぜ, 理科を教えるのか - 理科教育
がわかる教科書 -」文溪堂, pp. 30-34.
- 27) 大高泉 (1992) 「理科教育講座 4 理科の学習論 (上)」
東洋館出版社, pp. 240-241.
- 28) 同書, p. 247.
- 29) 小林辰至 (2000) 「原体験を基盤とした科学的問題解
決学習のモデル化に関する研究」『兵庫教育大学大学院
連合学校教育学研究科博士論文』pp. 1-13.
- 30) 文部省 (1970) 「中学校指導書理科編」大日本図書,
pp. 35-57.
- 31) Commission on Science Education of American
Association for the Advancement of Science (eds.),
“*Science - A Process Approach commentary for tea-
chers*”, pp. 122-131, 1963, AAAS/XEROX Corporation.
- 32) 吉山泰樹・小林辰至 (2011) 「プロセス・スキルズの
観点からみた観察・実験等の類型化 - 中学校理科教科
書に掲載されている観察・実験等について -」『理科教
育学研究』第 52 巻, 第 1 号, pp. 107-119.
- 33) 吉山泰樹・小松武史・稲田結美・小林辰至 (2012) 「プ
ロセス・スキルズの観点からみた観察・実験等の類型
化 (2) - 小学校理科教科書に掲載されている観察・
実験等について -」『理科教育学研究』第 52 巻, 第 3 号,

- pp. 179-190.
- 34) 前掲書 31)
- 35) 前掲書 18)
- 36) 前掲書 30), p. 10.
- 37) 柴一実 (2006) 「アメリカのカリフォルニア州における科学カリキュラムの現代的動向－直接教授と探究活動とのバランスを重視した科学カリキュラム－」『広島大学大学院教育学研究科紀要』第一部, 第 55 号, pp. 61-70.
- 38) 前掲書 33)
- 39) 山口真人・田中保樹・小林辰至 (2015) 「科学的な問題解決において児童・生徒に仮説を設定させる指導の方略－The Four Question Strategy (4QS) における推論の過程に関する一考察－」『理科教育学研究』第 56 巻, 第 4 号, pp. 437-443.
- 40) 兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科共同研究プロジェクト M (平成 23-25 年度) 報告書 (2014) 「地域における理数教育活性化のための教員研究モデル・プログラムの開発・評価に関する教育実践学的研究」兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科, p. 34.
- 41) 同書, pp. 35-36.
- 42) 森一夫 (2003) 「21 世紀の理科教育」学文社, p. 36.
- 43) 前掲書 24)
- 44) 前掲書 42)
- 45) 前掲書 3)
- 46) Quinn, M. E., & C. Kessler. (1980). Science Education and bilingualism. Paper presented at the 53rd annual

- meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Boston, pp.16-17.
- 47) Ronnig, M. E., & McCurdy, D. W. (1982). The role of instruction in the development of problem solving skills in science. What research says to the science teacher, Vol. 4, pp. 21-31, NSTA.
- 48) Cothron, J. H., Giese, R. N., & Rezba, R. J. (2000). Science Experiments and Projects for Students, Kendall/Hunt Publishing Company, pp. 21-35.
- 49) 小林辰至・永益泰彦 (2006) 「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望－小学校教員志望学生の子ども頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価－」『科学教育研究』第 30 巻, 第 3 号, pp. 185-193.
- 50) 金子健治・小林辰至 (2010) 「The Four Question Strategy (4QS) を用いた仮説設定の指導が素朴概念の転換に与える効果－質量の異なる台車の斜面上の運動の実験を例として－」『理科教育学研究』第 50 巻, 第 3 号, pp. 67-76.
- 51) 金子健治・小林辰至 (2011) 「The Four Question Strategy (4QS) に基づいた仮説設定の指導がグラフ作成能力の習得に与える効果に関する研究－中学校物理領域『力の大きさとばねの伸び』を例として－」『理科教育学研究』第 51 巻, 第 3 号, pp. 75-83.
- 52) 永益泰彦 (2008) 「高等学校生物における科学的探究能力育成に関する指導法の研究－仮説設定能力に関わる要因の構造と能力育成の手立て－」 pp. 1-10.

(<http://www.edu-c.pref.nagasaki.jp/ronbun/%E2%91%A3.pdf>)

【最終アクセス：2015年7月22日】

- 53) 前掲書 49)
- 54) 永益泰彦・小林辰至 (2007) 「高校生の仮説設定能力にかかわる要因の構造－生物 I 選択者における質問紙調査の分析から－」『理科教育学研究』第 48 巻, 第 3 号, pp. 63-70.
- 55) 荒井妙子・永益泰彦・小林辰至 (2008a) 「中学生の自然事象に関わる変数への気づきに影響を及ぼす要因の検討」『理科教育学研究』第 49 巻, 第 1 号, pp. 1-8.
- 56) 荒井妙子・永益泰彦・小林辰至 (2008b) 「自然事象から変数を同定する能力に影響を及ぼす諸要因の因果モデル」『理科教育学研究』第 49 巻, 第 2 号, pp. 11-18.
- 57) 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至 (2013) 「小・中学校の理科教科書に掲載されている 観察・実験等の類型化とその探究的特徴－プロセス・スキルズを精選・統合して開発した「探究の技能」に基づいて－」『理科教育学研究』第 54 巻, 第 2 号, pp. 225-247.
- 58) 前掲書 32)

第1章 小学生の理科における「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデル

－第6学年の児童を対象とした質問紙調査の結果に基づいて－

1. 問題の所在と目的

本章は、前述したとおり、研究課題1に位置付くものであり、第6学年の児童を対象に質問紙調査を実施し、「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するとともに、諸要因の因果モデルを検討するためのパス解析、及びパス図の作成を試みた。

序章の第5節で述べたように、理科の学習において、問題の発見から仮説の設定、その検証に至る過程を重視した授業の重要性は、従前より指摘されてきた^{1) 2)}。また、仮説を設定する能力に関する研究もいくつか報告されている^{3) 4) 5) 6) 7) 8)}。

これらの先行研究から、ものづくりなどの科学的な体験や身近な自然を対象とした自然体験が豊富であると、自然から多くの変数を同定することができるため、生徒が検証可能な仮説を設定する際には、自らの生活経験や学習経験が重要な要因になることが示唆される。

しかしながら、自然事象から従属変数と独立変数を同定する能力、及びそれら2変数の因果関係を認識する能力に着目し、知的好奇心や自然体験などの諸要因が、どのような影響を及ぼしているかを検討した研究は見当た

らない。

以上のことを踏まえ、本章では、中高校生に比べて未発達の小学生を対象に、自然事象から従属変数と独立変数を同定したり、これら2変数の因果関係を正しく認識したりする能力に着目し、それらに影響を及ぼす諸要因の因果モデルについて検討するとともに、指導方法の考案に向けた示唆を得ることを目的とした。

2. 研究の方法

2-1. 調査の対象及び時期

岐阜県内の公立小学校5校の第6学年 322名を調査対象に、2013年10月中旬から12月下旬にかけて、質問紙調査を実施した。なお、分析は回答に不備のあった8名を除く314名について行った。

2-2. 調査の内容

科学的に検証可能な問いを立てて探究を行う場合、仮説を設定するのが通常である。その際、まず、自然事象から従属変数と独立変数を同定すること（以下、「変数の同定」と表記）、次に、これら2変数の因果関係を認識すること（以下、「因果関係の認識」と表記）が必要不可欠である。そこで、これら2つを合わせたものを本研究における「仮説設定能力」と定義することとする。

2-2-1. 従属変数を同定する能力

「従属変数を同定する能力」を測定するために、荒井・永益・小林^{9) 10)}の研究を参考に、「太陽の光は、私たちの生活にどのような影響を与えているか。思いつくことをできるだけたくさん書きましょう。」という問いを設定した。

2-2-2. 独立変数を同定する能力

従属変数に影響を及ぼす「独立変数を同定する能力」を測定するために、荒井・永益・小林^{11) 12)}の研究を参

考に、「私は、雪の斜面を下るそりの速さについて調べる実験をすることにした。少しでもそりのスピードを上げるには、どうしたらいいか。思いつくことをできるだけたくさん書きましょう。ただし、斜面の角度だけは決まっていることとする。」という問いを設定した。

2-2-3. 因果関係を認識する能力

「因果関係の認識」については、古澤・松原・岩間・稲田・谷・小林¹³⁾の研究を参考に、「激しい運動をすると、呼吸の回数や心臓の拍動はどうなるか。『…だから、…は、…になる。』という文章で説明しましょう。」という問いを設定し、原因と結果の関係について回答を求めた。この際、原因に関する記述をするうえで参考となる6つのキーワード（「酸素」、「二酸化炭素」、「肺」、「血液」、「栄養分」、「エネルギー」）を与え、これらを任意に用いて回答するように指示した。なお、本設問に関する学習内容は、第6学年理科単元「人の体のつくりと働き」¹⁴⁾において学習済みであった。

2-2-4. 「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するための質問項目

小学生の「仮説設定能力」に影響を及ぼす要因として、身近な自然への興味・関心や既有知識、自然体験などが考えられる。そこで、小倉¹⁵⁾、荒井・永益・小林^{16) 17)}の研究を参考に、小学生の「仮説設定能力」に影響を及ぼすと思われる10個のカテゴリー（「算数に対する好感度」、「身近な自然体験」、「自然への興味・関心」、「理科

的な教育施設との関わり」,「生き物との関わり」,「本との関わり」,「ものづくり」,「探究的な学習活動」,「観察,実験技能に対する自信」,「理科への興味・関心」)を設定し,合計45個の質問項目を作成した(表1-1)。

なお,各質問項目については4件法(「4. とてもそう思う」,「3. そう思う」,「2. そう思わない」,「1. あまりそう思わない」)で回答を求めた。

2-3. 分析の方法

2-3-1. 「変数の同定」の得点化

「従属変数を同定する能力」及び「独立変数を同定する能力」については,1つの回答につき1点を与えて点数化した。そして,これら2つの合計得点を「変数の同定」の変数として用いた。なお,「独立変数を同定する能力」に関する回答の分析基準として,「そりにエンジンを装備する,空気抵抗がなくなるスーツを着る」など,実施困難な方法であっても,そり(独立変数)の条件を制御する記述が見られる場合は正答とした。

一方,「雪山の斜面を全て氷にする」といった,そり(独立変数)以外の条件を制御したり,「そりの裏にタイヤを付ける」といった,科学的に正しくなかったりする記述が見られる場合は誤答とした。

2-3-2. 「因果関係の認識」の得点化

「因果関係の認識」については,文章の前後の記述が因果関係に基づいた回答(例えば,「多くの酸素が必要となるから,呼吸の回数が増える」)であれば,1つにつき

1点を与えて得点化した。そして、この得点を「因果関係の認識」の変数として用いた。

表1-1 「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するための質問項目

1 算数に対する好感度（5項目）	6 本の関わり（4項目）
1) 算数は好きか	24) 虫や動物、または虫や動物が主人公のマンガを読んだことがあるか
2) 算数の計算問題が好きか	25) 図鑑（動物・植物）を見たことがあるか
3) 算数の図形問題が好きか	26) 動物の飼育の仕方が書いてある本を読んだことがあるか
4) 算数の文章を読んで式を立てる問題が好きか	27) 昆虫記を読んだことがあるか
5) 算数の応用問題が好きか	7 ものづくり（4項目）
2 身近な自然体験（3項目）	28) 木や木の実などで、何かを作ったことがあるか
6) 家の人や友達とハイキングや山登りに出かけたことがあるか	29) むいぐるみや編み物など、手芸作品を作ったことがあるか
7) 家の人や友達と川や海へ出かけたことがあるか	30) プラモデルや模型を作ったことがあるか
8) 田植えや畑仕事をしたことがあるか	31) ものを組み立てたり、作ったりするのが好きか
3 自然への興味・関心（4項目）	8 探究的な学習活動（4項目）
9) 動植物の生き方やその環境を調べることに興味があるか	32) 不思議に思ったことを自分で確かめてみたことがあるか
10) 地球や宇宙がどのようにできたかを調べることに興味があるか	33) 結果を予測して、観察、実験をしたことがあるか
11) 地震や火山や台風被害をどう防ぐかに興味があるか	34) 自分で考えた方法で、観察、実験をしたことがあるか
12) 科学技術についてのニュースや話題に関心があるか	35) 観察、実験の結果に基づいて、筋道を立てて考えたことがあるか
4 理科的な教育施設との関わり（3項目）	9 観察、実験技能に対する自信（4項目）
13) 家の人または友達と水族館に行ったことがあるか	36) 温度計の見方に自信があるか
14) 家の人または友達と科学館に行ったことがあるか	37) アルコールランプの使い方に自信があるか
15) 家の人または友達と博物館に行ったことがあるか	38) マッチを正しく安全にする自信があるか
5 生き物との関わり（8項目）	39) 気体検知管の使い方に自信があるか
16) こん虫をつかまえたことがあるか	10 理科への興味・関心（6項目）
17) こん虫を飼育したことがあるか	40) 理科は好きか
18) 魚をつったり、つかまえたりしたことがあるか	41) 理科の学習は面白い
19) 魚（金魚や熱帯魚）を飼育したことがあるか	42) 理科で学ぶことに、役に立つことは多いと思うか
20) 動物（ペット）を育てたことがあるか	43) 観察、実験は好きか
21) 動物（ペット）の死を見たことがあるか	44) 理科について興味があることを自分で調べたり学習したりしているか
22) 草花や野草で遊んだことがあるか	45) テレビで、理科に関する番組をよく見る方か
23) 自分で草花や野菜を種子から育てたことがあるか	

2-3-3. 「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するための質問項目の処理

まず、得られた回答を集計し、項目ごとの得点の平均値と標準偏差を求め、分析対象45項目から天井効果がみられた4項目（15, 16, 17, 30）、フロア効果がみられた1項目（20）を削除した。次に、残った40個の質問項目について、主因子法による因子分析を行った。因子数は、固有値が1以上であることを条件とし、3～12因子までの分析を行い、最適解を5因子とした。

さらに、因子数を5因子として、バリマックス回転を行った後、因子負荷が.40に満たない5項目(8, 19, 24, 31, 35)を削除し、再度、因子分析(バリマックス回転)を行った。そして、因子負荷が2因子にまたがって.40以上の負荷を示した2項目(28, 33)を削除し、最終的に33項目を選出した。抽出された5つの因子を「豊かな自然体験」、「理科への好感度」、「算数への好感度」、「自然や科学技術への興味・関心」、「実験技能に対する自信」と命名した(表1-2)。

2-3-4. 「仮説設定能力」に影響を及ぼす5つの因子の得点化

4件法による質問紙から得られた回答について、1～4点までの範囲で点数を与え、因子ごとの合計点数を算出し、これを本研究で明らかにする「仮説設定能力」の説明変数として用いた。

2-3-5. 5つの因子と「仮説設定能力」との相関分析、及び研究仮説の設定

まず、5つの因子(「豊かな自然体験」、「理科への好感度」、「算数への好感度」、「自然や科学技術への興味・関心」、「実験技能に対する自信」と、本研究において「仮説設定能力」として定義した2つの因子(「変数の同定」及び「因果関係の認識」)を合わせた7つの因子間の相関(Pearsonの積率相関係数)を求めた。次に、相関分析の結果に基づき、因果関係の構造について研究仮説を設定した。

2-3-6. パス図の作成とパス解析

後述 (p. 48) する研究仮説に基づいて、統計解析ソフト SPSS (VER. 22.0), Amos22.0 を使用してパス解析を行い、因果関係の構造の妥当性や相互に及ぼし合う影響の大きさを分析した。

表 1-2 「仮説設定能力」に影響を及ぼす 5 つの因子を同定した因子分析パターン行列

番号	項目内容	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
因子1『豊かな自然体験』（12項目）						
7	家の人や友達と川や海へ出かけたことがあるか	.610	.153	.196	.328	.073
22	草花や野草で遊んだことがあるか	.607	.085	.055	.091	.127
6	家の人や友達とハイキングや山登りに出かけたことがあるか	.597	.180	.091	.195	.013
13	家の人または友達と水族館に行ったことがあるか	.575	.298	.303	.054	.026
18	魚をつったり、つかまえたりしたことがあるか	.520	.150	.192	.216	.181
14	家の人または友達と科学館に行ったことがあるか	.511	.191	.144	.186	.255
21	動物（ペット）の死を見たことがあるか	.498	.364	.344	-.004	-.012
26	動物の飼育の仕方が書いてある本を読んだことがあるか	.489	.322	.271	-.086	.008
25	図鑑（動物・植物）を見たことがあるか	.472	.279	.110	.347	.140
23	自分で草花や野菜を種子から育てたことがあるか	.459	.055	-.071	-.003	.082
27	昆虫記を読んだことがあるか	.433	.093	.164	.232	.014
29	ぬいぐるみや編み物など、手芸作品を作ったことがあるか	.422	-.025	-.018	.095	-.061
因子2『理科への好感度』（7項目）						
40	理科は好きか	.035	.845	.175	.180	.065
43	観察、実験は好きか	-.026	.735	.114	.164	.061
42	理科で学ぶことに、役に立つことは多いと思うか	.239	.727	.115	.149	.148
41	理科の学習は面白い	.187	.713	.115	.251	.109
44	理科について興味があることを自分で調べたり学習したりしているか	.346	.599	.171	.002	.062
45	テレビで、理科に関する番組をよく見る方か	.185	.592	.160	.226	.116
9	動植物の生き方やその環境を調べることに興味があるか	.260	.424	.222	.167	-.141
因子3『算数への好感度』（5項目）						
1	算数は好きか	.073	.137	.809	-.073	.038
4	算数の文章を読んで式を立てる問題が好きか	.074	.155	.788	.110	.017
2	算数の計算問題が好きか	.067	.163	.744	.020	.139
5	算数の応用問題が好きか	.201	.155	.657	.260	.162
3	算数の図形問題が好きか	.127	.250	.476	.231	-.055
因子4『自然や科学技術への興味・関心』（7項目）						
10	地球や宇宙がどのようにできたかを調べることに興味があるか	.084	.049	.016	.615	.102
12	科学技術についてのニュースや話題に関心があるか	.233	.231	.320	.570	.065
11	地震や火山や台風の被害をどう防ぐかに興味があるか	.283	.192	.344	.566	.076
34	自分で考えた方法で、観察、実験をしたことがあるか	.086	.285	.358	.498	.113
32	不思議に思ったことを自分で確かめてみたことがあるか	.222	.166	-.207	.436	-.077
36	温度計の見方に自信があるか	.195	.193	.082	.409	.175
39	気体検知管の使い方に自信があるか	.088	.346	.225	.405	-.035
因子5『実験技能に対する自信』（2項目）						
37	アルコールランプの使い方に自信があるか	.134	.133	.149	.101	.892
38	マッチを正しく安全にする自信があるか	.148	.134	.097	.112	.833
因子寄与		4.85	4.49	3.71	3.25	1.91
α係数		.940	.969	.851	.904	.744

注) Kaiser の正規化を伴うバリマックス法

3. 結果

3-1. 「仮説設定能力」を得点化した結果

図1-1に「変数の同定」（従属変数の指摘数と独立変数の指摘数の合計得点）の度数分布を示す。度数分布をみると、中央値4、最頻値4、最高値17、最低値0、平均値4.4であった。なお、従属変数の指摘数は平均値2.5、最高値12、最低値0、独立変数の指摘数は平均値1.9、最高値7、最低値0であった。また、図1-2に「因果関係の認識」の度数分布を示す。度数分布をみると、中央値1、最頻値1、最高値7、最低値0、平均値1.8であった。

これら「変数の同定」及び「因果関係の認識」を本研究で明らかにする「仮説設定能力」（目的変数）として用いた。

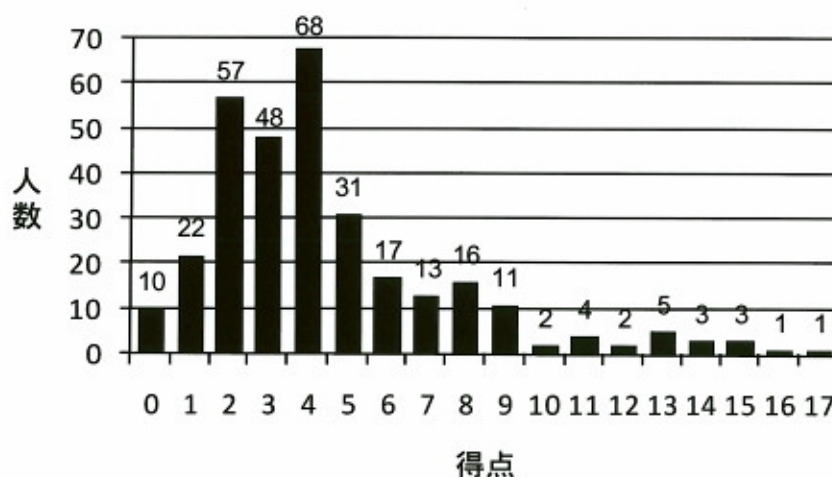


図1-1 「変数の同定」の度数分布

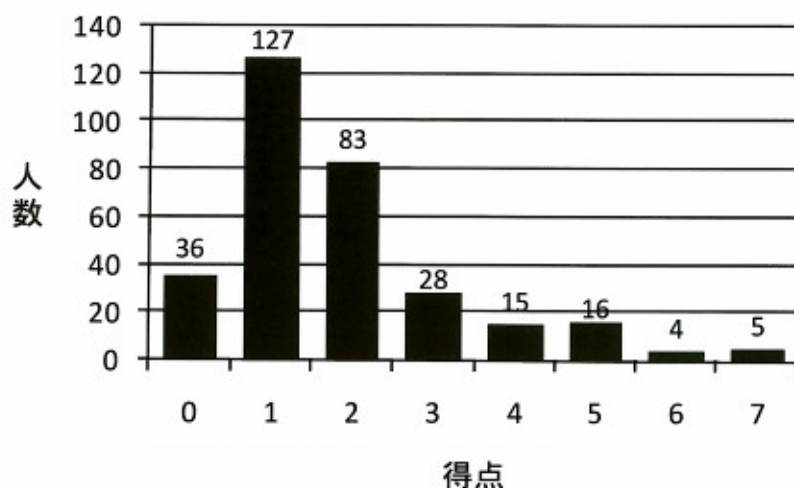


図 1 - 2 「因果関係の認識」の度数分布

3 - 2 . 因子分析の結果から得た要因

「仮説設定能力」に対して、因子分析によって同定した5因子がどのような影響を及ぼしているのかを検討するために、因子名を検討した。なお、命名は因子負荷量の大きい数項目に着目して行った。

因子1は、「7：家の人や友達と川や海へ出かけたことがあるか」、「22：草花や野草で遊んだことがあるか」という身近な自然体験に関する項目が含まれている。そこで、「豊かな自然体験」と命名した。

因子2は、「40：理科は好きか」、「43：観察、実験は好きか」という理科の学習に関する項目が含まれている。そこで、「理科への好感度」と命名した。

因子3は、「1：算数は好きか」、「4：算数の文章を読んで式を立てる問題が好きか」という算数の学習に関する

る項目が含まれている。そこで、「算数への好感度」と命名した。

因子4は、「10：地球や宇宙がどのようにできたかを調べることに興味があるか」、「12：科学技術についてのニュースや話題に関心があるか」という自然や科学技術に関する項目が含まれている。そこで、「自然や科学技術への興味・関心」と命名した。

因子5は、「アルコールランプの使い方に自信があるか」、「マッチを正しく安全にする自信があるか」という実験技能への自信に関する項目が含まれている。そこで、「実験技能に対する自信」と命名した。

また、表1-2に示したように、各因子の信頼性係数(Cronbach α)を算出した結果、各因子について十分な内的整合性が得られ、作成した質問項目の妥当性と信頼性が認められた。

3-3. 5つの因子と「仮説設定能力」との相関分析、及び研究仮説の設定

同定された5つの因子それぞれについて、まず、質問項目の得点を合計し、因子ごとの得点を求めた。次に、因子ごとの得点と「変数の同定」及び「因果関係の認識」の得点との相関を求めた。

相関分析の結果、表1-3に示したように、21の因子間で有意な正の相関が認められた。特に、「変数の同定」と「因果関係の認識」($r=.869$, $p<.01$)に最も強い正の相関が示された。また、「変数の同定」と5つの因子との相関関係が、「因果関係の認識」のそれらよりも大きいこ

とから、「変数の同定」が諸要因の影響を受けたうえで、「因果関係の認識」に直接的影響を及ぼすと考えた。加えて、5つの因子の中で、「変数の同定」と正の相関が最も強く見られたものは「実験技能に対する自信」($r=.412$, $p<.01$)であった。このことから、「実験技能に対する自信」は「変数の同定」に直接的影響を及ぼすと考えた。

次いで、「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」($r=.767$, $p<.01$)に強い正の相関が示された。このことから、「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」は共変動の関係にあり、本研究において明らかにしようとしている因果モデルの初発に位置する要因であると考えた。

さらに、「自然や科学技術への興味・関心」と「実験技能に対する自信」($r=.673$, $p<.01$)、「豊かな自然体験」と「実験技能に対する自信」($r=.673$, $p<.01$)に比較的強い正の相関が示された。このことから、「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」は「実験技能に対する自信」に直接的影響を及ぼすと考えた。

また、「実験技能に対する自信」について他の要因との関係を見てみると、「理科への好感度」($r=.487$, $p<.01$)及び「算数への好感度」($r=.420$, $p<.01$)であった。加えて、「理科への好感度」と「算数への好感度」にも比較的強い正の相関が示された($r=.421$, $p<.01$)。このことから、「実験技能に対する自信」、「理科への好感度」、及び「算数への好感度」の各2因子間において、比較的近い正の相関関係が示されたことから、これら3つの因子は相互に影響を及ぼし合いながら、1つの構造を構成す

るとともに、「変数の同定」に影響を及ぼすと考えた。

なお、「自然や科学技術への興味・関心」との相関においては、「変数の同定」($r=.223$, $p<.01$)及び「因果関係の認識」($r=.142$, $p<.05$)であり、「豊かな自然体験」との相関においては、「変数の同定」($r=.269$, $p<.01$)及び「因果関係の認識」($r=.186$, $p<.01$)であった。

これまでの考察を踏まえ、「変数の同定」及び「因果関係の認識」の2つの観点に基づいた「仮説設定能力」と、それに影響を及ぼす5つの因子との関係について、以下の4つの研究仮説を設定した。そして、これらの研究仮説に基づいたパス図(図1-3)を描き、因果モデルを検討することとした。

表1-3 5つの因子と「変数の同定」及び「因果関係の認識」との相関(Pearsonの積率相関係数)

	豊かな自然体験	理科への好感度	算数への好感度	自然や科学技術への興味・関心	実験技能に対する自信	変数の同定	因果関係の認識
豊かな自然体験		.559**	.412**	.767**	.673**	.269**	.186**
理科への好感度			.421**	.605**	.487**	.198**	.142*
算数への好感度				.463**	.420**	.244**	.188**
自然や科学技術への興味・関心					.673**	.223**	.142*
実験技能に対する自信						.412**	.291**
変数の同定							.869**
因果関係の認識							

** $p<.01$, * $p<.05$

注) 有意確率は両側検定で行った結果である。

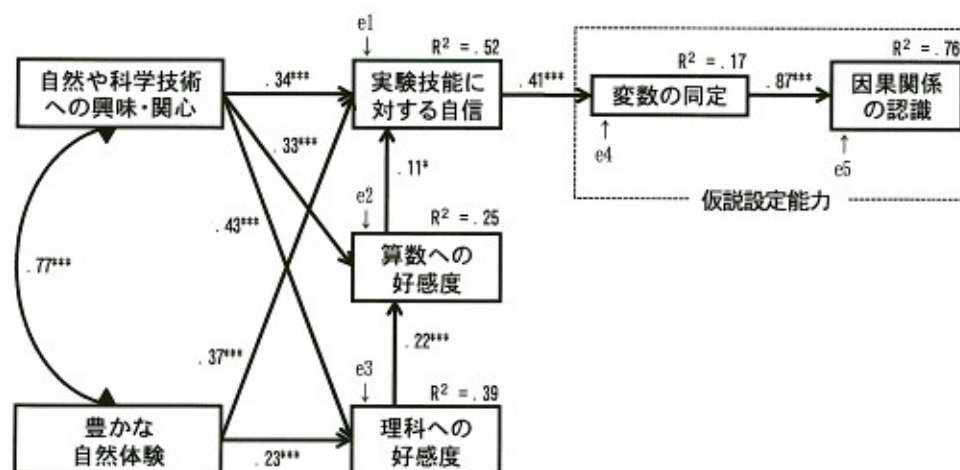
研究仮説：

- ①「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」は共変動の関係にあり、「実験技能に対する自信」に直接的影響を及ぼす因果モデルの初発の段階に位置する。
- ②「実験技能に対する自信」、「理科への好感度」及び「算数への好感度」の各2因子間において、比較的近い正の相関関係が示されたことから、これら3つの因子は相互に影響を及ぼし合いながら、1つの構造を構成するとともに、「変数の同定」に影響を及ぼす。
- ③「実験技能に対する自信」は「変数の同定」に直接的影響を及ぼす。
- ④「変数の同定」と5つの因子との相関関係が、「因果関係の認識」のそれらよりも大きいことから、「変数の同定」が諸要因の影響を受けたうえで、「因果関係の認識」に直接的影響を及ぼす。

3-4. パス図の作成とパス解析

表1-4に示したように、因果モデルの妥当性に関する観点として、モデルの適合度を検討するための指標を用いた。さらに、「仮説設定能力」に影響を及ぼす5つの因子の直接効果、間接効果、総合効果を表1-5に示す。

図1-3に示した因果モデルの適合度を検討した結果、 $\chi^2=9.323$ 、自由度=11、 $p=.502$ であった。また、本因果モデルの適合度指標(GFI)は.995、修正適合度指標(AGFI)は.985、比較適合度指数(CFI)は1.000、平均二乗誤差平方根(RMSEA)は.000であった。



- ・ 矢印はパス（横の数値は標準化したパス係数）
- ・ 両方向の弧矢印は共変（数値は Pearson の積率相関係数）
- ・ R^2 は重相関係数の平方
- ・ e1～5 は誤差変数
- ・ *** $p < .001$, * $p < .05$

図 1 - 3 「仮説設定能力」に影響を及ぼす要因の構造

表 1 - 4 モデルの適合度指標（N = 314）

χ^2 検定			GFI	AGFI	CFI	RMSEA
χ^2	自由度	P値				
9.323	11	.502	.995	.985	1.000	.000

表 1 - 5 「仮説設定能力」に影響を及ぼす5つの因子の直接効果，間接効果，総合効果

	変数の同定			因果関係の認識
	直接効果	間接効果	総合効果	総合効果(間接効果)
豊かな自然体験	—	.153	.153	.108
理科への好感度	—	.010	.010	.007
算数への好感度	—	.046	.046	.032
自然や科学技術への興味・関心	—	.160	.160	.113
実験技能に対する自信	.411	—	.411	.291

これまで述べてきた結果から，本因果モデルはデータと十分適合しており，研究仮説は支持されたと考えられる。併せて，本因果モデルから，以下の示唆が得られた。なお，()内はパス係数を示し，影響の強さを表す。

- ①「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」(.77)は共変動の関係にあり，「変数の同定」に直接的影響を及ぼす因果モデルの初発の段階に位置している。
- ②「自然や科学技術への興味・関心」(.34)と「豊かな自然体験」(.37)は，「実験技能に対する自信」に直接的影響を及ぼしている。
- ③「理科への好感度」は，「自然や科学技術への興味・関心」(.43)と「豊かな自然体験」(.23)から影響を受け，「算数への好感度」(.22)に直接的影響を及ぼしている。

- ④ 「算数への好感度」は、「自然や科学技術への興味・関心」(.33)と「理科への好感度」から影響を受け、「実験技能に対する自信」(.11)に直接的影響を及ぼしている。
- ⑤ 「実験技能に対する自信」は、「自然や科学技術への興味・関心」、「豊かな自然体験」及び「算数への好感度」から影響を受け、「変数の同定」(.41)に直接的影響を及ぼしている。
- ⑥ 「変数の同定」は、「因果関係の認識」(.87)に強い直接的影響を及ぼしている。

これらの示唆から、第6学年の児童の場合、「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」が因果モデルの初発の段階に位置し、他の要因と関わり合って、「変数の同定」に影響を及ぼしていることが明らかとなった。さらに、本因果モデルに関するいくつかの要因について、以下に詳細な分析を加えた。

第1に、「自然や科学技術への興味・関心」(間接効果.160)と「豊かな自然体験」(間接効果.153)は、他の要因を経ながら「変数の同定」に間接的影響を及ぼしている。この「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」は共変動の関係にあることから、「自然や科学技術への興味・関心」が高い児童は、「豊かな自然体験」も多い傾向にあるといえる。

第2に、「理科への好感度」(間接効果.010)と「算数への好感度」(間接効果.046)は、「実験技能に対する自信」を経ながら、「変数の同定」に間接的影響を及ぼして

いる。理科や算数が好きである児童は、身近な自然に親しんだり、自然事象に対する興味・関心を高めたりするとともに、科学的に探究する能力や態度の育成がより一層促進されていくと思われる。そして、こうした経験の積み重ねにより、「実験技能に対する自信」が醸成されていくと考えられる。

第3に、「実験技能に対する自信」（直接効果.411）は、「自然や科学技術への興味・関心」、「豊かな自然体験」、及び「算数への好感度」から影響を受け、「変数の同定」に直接的影響を及ぼしている。探究的な学習活動を通じて、自然事象に対する強い興味・関心が「実験技能に対する自信」を醸成したり、自然と触れ合う経験やそれによって得られた知識が「変数」を想起させたりする一助になるとともに、その根拠にもなっていると考えられる。さらに、理科に自信のある児童は、自然事象から変数を同定する能力も高いことが示唆される。

第4に、自然事象から従属変数と独立変数を同定する能力が高い児童は、これら2変数の因果関係を認識する能力も高い傾向にあるといえる。

4. 考察

本章の目的は、小学生の理科における「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデルを明らかにするとともに、指導方法の考案に向けた示唆を得ることであった。

図1-3に示した因果モデルにおいて、「自然や科学技術への興味・関心」が初発の段階に位置づけられたことは、「人間が本来、知的好奇心を備えた存在である」とする荒井・永益・小林¹⁸⁾の指摘と一致している。

しかし、中学生を対象とした荒井・永益・小林¹⁹⁾の研究では、「自然や科学技術への興味・関心」が「身近な自然に関わる体験」を経て「変数への気づき」に影響を及ぼしているのに対し、小学生を対象とした本研究では、「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」は共変動の関係にあり、それらが「実験技能に対する自信」を経て「変数の同定」に影響を及ぼしている点が異なる。中高校生に比べて未発達の小学生的場合、知的好奇心が強いほど、身近な自然に親しんだり、自然に関わる体験が誘発されたりするとともに、これらの体験で得られた知識や経験の積み重ねが、自然事象についての理解、及び科学的な思考力や表現力の育成につながると推察される。そして、こうした経験により、理科への好感度や自信が醸成され、自然事象から従属変数と独立変数を同定する能力に影響を及ぼすものと考えられる。

これらの示唆は、科学的に探究する能力や態度の育成を重視している理科の学習において、自然体験や科学的な体験の重要性を裏付けるものであり、2008年告示の小

学校学習指導要領解説理科編²⁰⁾が掲げる理科の目標の1つである「実感を伴った理解とは、具体的な体験を通して形づくられる」と一致している。

一般に、因果関係の成立要件として、変数間の「時間的先行性」、「共変（結合）性」、「普遍性」、「整合性」の4つが挙げられる。第6学年ともなれば、自然事象から同定した従属変数と独立変数について、「時間的先行性」や「共変（結合）性」などに関する検討を適切に行うことができるようになるため、これら2変数の因果関係の認識も促進されると考えられる。

また、森²¹⁾は、科学的に探究する能力や態度の育成に関して、「仮説設定は、子どもに自然の探究活動をさせる際に最も重視されなければならない段階であること、また、自己の持つ情報と、直観から考え出される見解であり、科学の活動では創造性の最も必要な過程である」と仮説設定の重要性を述べている。さらに、仮説設定段階における教員の指導や助言の必要性についても指摘している。

これまで述べてきたように、第6学年の児童に対して、自然事象における従属変数と独立変数の2変数の因果関係に着目させ、実験で検証可能な仮説を児童自らの言葉で表現できるように指導することは、発達の程度の観点から時宜を得るものと考えられる。併せて、児童自らに仮説を設定させることで、見通しをもって観察、実験に取り組ませることが容易となり、問題解決や科学的に探究する能力の育成が促進されるようになることが期待される。

5. 本章のまとめ

本章では、第6学年の児童を対象とした質問紙調査の結果に基づいて、小学生の理科における「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデルについて検討するとともに、指導方法の考案に向けた示唆を得ることを目的とした。

この目的を達成するために、まず、第6学年の児童322名を対象として、45項目からなる質問紙調査を実施し、「仮説設定能力」に影響を及ぼす5つの因子として「豊かな自然体験」、「理科への好感度」、「算数への好感度」、「自然や科学技術への興味・関心」、「実験技能に対する自信」を同定した。次に、「仮説設定能力」を「変数の同定」と「因果関係の認識」の2つの観点で評価し、その回答を得点化した。そして、これら7つの変数についてパス図を作成し、パス解析を行った。

その結果、仮説設定で重要となる「変数の同定」と「因果関係の認識」に対して、「自然や科学技術への興味・関心」、「豊かな自然体験」及び「実験技能に対する自信」が間接的、直接的に影響を及ぼしていることが統計的に明らかとなった。また、自然事象から従属変数と独立変数を同定する能力の高い児童は、これら2変数の因果関係を認識する能力も高い傾向にあることが明らかとなった。

課題としては、以下の4点について検討を加えることが望まれる。

第1に、本研究で得られた示唆に基づく指導を行うことで、小学生の理科における「仮説設定能力」が育成さ

れるか否かを検証する必要がある。

第2に、第6学年以外の児童も調査対象とするなど、より大規模な質問紙調査による追試を行ったり、児童の居住地域（都市部と郡部）や性別に着目して分析したりすることで、本研究で導出された因果モデルの妥当性について吟味する必要がある。

第3に、自然事象から変数を同定する能力を育成するうえで、「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」の影響の及ぼし方の違いを明らかにし、児童の探究的な学習活動を保障する指導方法を考案する必要がある。

第4に、本研究では影響が認められなかった「ものづくり」については、科学的な体験の1つとして大切な要因であり、「仮説設定能力」との関連性を検討する必要がある。

以上のことから、本章では、小学生の理科における「仮説設定能力」を育成するためには、自然事象から同定した変数を因果関係として認識させ、仮説を文章で表現させる指導の可能性を裏付ける根拠と示唆を得ることができた。

しかしながら、本章で得られた示唆は、あくまで抽象的なものにすぎない。そのため、本章で得られた示唆に基づく指導方法を実際の授業場面に具体化し、その効果を検証していく必要がある。

そこで、研究課題2として、第2章では、自然事象から同定した変数を因果関係として認識させ、仮説を文章で表現させる指導方略である4QSの適用の可能性につい

て検討する。また、研究課題3として、第3章及び第4章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、認知的側面（現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解）に与える効果を検証する。併せて、第5章では、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が、考察の記述能力の育成に与える効果を検証する。

注

本研究では，質問紙調査を実施するうえで，以下の3点を厳格に遵守した。

- 1) 回答の有無や回答内容によって，個人に不利益（理科の成績や評価の低下）が生じないこと。
- 2) 回答内容を学術的な目的以外に使用したり，個別の結果を漏洩したりしないこと。
- 3) 自由回答につき，回答を持って同意とみなすこと。

引用文献

- 1) 森一夫 (2003) 「21世紀の理科教育」学文社，p. 36.
- 2) 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2005) 「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査 教科別分析と改善点 (小学校・理科)」 pp. 1-8.
(http://www.nier.go.jp/kaihatu/katei_h15/H15/03001040020007004.pdf)
【最終アクセス：2013年8月25日】
- 3) Quinn, M. E., & C. Kessler. (1980). Science Education and bilingualism. Paper presented at the 53rd annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Boston, pp. 16-17.
- 4) Ronnig, M. E., & McCurdy, D. W. (1982). The role of instruction in the development of problem solving skills in science. What research says to the science

teacher, Vol. 4, pp. 21-31, NSTA.

- 5) Cothron, J. H., Giese, R. N., & Rezba, R. J. (2000). Science Experiments and Projects for Students, Kendall/Hunt Publishing Company, pp. 21-35.
- 6) 永益泰彦・小林辰至 (2007) 「高校生の仮説設定能力にかかわる要因の構造－生物 I 選択者における質問紙調査の分析から－」『日本理科教育学会』第 48 巻, 第 3 号, pp. 63-70.
- 7) 荒井妙子・永益泰彦・小林辰至 (2008a) 「中学生の自然事象に関わる変数への気づきに影響を及ぼす要因の検討」『理科教育学研究』第 49 巻, 第 1 号, pp. 1-8.
- 8) 荒井妙子・永益泰彦・小林辰至 (2008b) 「自然事象から変数を同定する能力に影響を及ぼす諸要因の因果モデル」『理科教育学研究』第 49 巻, 第 2 号, pp. 11-18.
- 9) 前掲書 7)
- 10) 前掲書 8)
- 11) 前掲書 7)
- 12) 前掲書 8)
- 13) 古澤陽介・松原静郎・岩間淳子・稲田結美・谷友和・小林辰至 (2013) 「『動物の体のつくりと働き』に関する総合的な理解に影響を及ぼす諸要因の因果モデル－直接経験的及び間接経験的な観察・実験を起点として－」『理科教育学研究』第 54 巻, 第 1 号, pp. 71-81.
- 14) 文部科学省 (2008) 「小学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, pp. 60-62.

- 15) 小倉康 (2003) 「科学への学習意欲に関する実態調査
ースーパーサイエンスハイスクール・理科大好きスクール
対象調査結果報告書ー」独立行政法人科学技術振興
機構, pp. 205-264.

(<http://www.nier.go.jp/ogura/RepSSH05All.pdf>)

【最終アクセス：2013年8月25日】

- 16) 前掲書 7)
17) 前掲書 8)
18) 同書
19) 同書
20) 前掲書 14), pp. 9 -10.
21) 前掲書 1)

参考文献

- ・兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科共同研究プロジェクト M (平成 23-25 年度) 報告書 (2014) 「地域における理数教育活性化のための教員研究モデル・プログラムの開発・評価に関する教育実践学的研究」兵庫教育大学連合学校教育学研究科.
- ・金子健治 (2011) 「The Four Question Strategy を用いた仮説設定が中学生の科学的概念形成に与える効果に関する実証的研究」『兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科博士論文』.
- ・小塩真司 (2004) 「SPSS と Amos による心理・調査データ解析 因子分析・共分散構造分析まで」東京図書.

- ・小塩真司（2005）「研究事例で学ぶ SPSS と Amos による心理・調査データ解析」東京図書．
- ・小塩真司（2007）「実践形式で学ぶ SPSS と Amos による心理・調査データ解析」東京図書．
- ・中谷宇吉郎（1958）「科学の方法」岩波新書．
- ・田部井明美「SPSS 完全活用法 共分散構造分析（Amos）によるアンケート処理」東京図書．
- ・渡辺美智子（2013）「知識基盤社会における統計教育の新しい枠組み～科学的探究・問題解決・意思決定に至る統計思考力～」『日本統計学会誌』第 42 巻，第 2 号，pp. 253-271．
- ・山際勇一郎・田中敏（1997）「ユーザーのための心理データの多変量解析法」教育出版．

資料1 「従属変数を同定する能力」、「独立変数を同定する能力」及び「因果関係を認識する能力」に関する質問紙調査

理科アンケート調査

6年組 番名前()

- ①太陽の光は、私たちの生活にどのような影響を与えているか。思いつくことをできるだけたくさん書きましょう。

- ②私は、雪の斜面を下るそりの速さについて調べる実験をすることにした。少しでもそのスピードを上げるには、どうしたらいいか。思いつくことをできるだけたくさん書きましょう。ただし、斜面の角度だけは決まっていることとする。

- ③激しい運動をすると、呼吸の回数や心臓の拍動はどうなるか。「…だから、…は、…になる。」という文章で説明しましょう。「酸素」、「二酸化炭素」、「肺」、「血液」、「栄養分」、「エネルギー」などのキーワードを使って、思いつくことをすべて書きましょう。キーワードは何回でも使ってよい。

【書き方の例：はげしい運動をすると、□□だから（するから）、○○になる。】

資料2 「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するための質問項目

番号	調査項目	とてもそう思う	そう思う	そう思わない	全くそう思わない
1	算数は好きか。	4	3	2	1
2	算数の計算問題が好きか。	4	3	2	1
3	算数の図形問題が好きか。	4	3	2	1
4	算数の文章を読んで式を立てる問題が好きか。	4	3	2	1
5	算数の応用問題が好きか。	4	3	2	1
6	家の人や友達とハイキングや山登りに出かけたことがあるか。	4	3	2	1
7	家の人や友達と川や海へ出かけたことがあるか。	4	3	2	1
8	田植えや畑仕事をしたことがあるか。	4	3	2	1
9	動植物の生き方やその環境を調べることに興味があるか。	4	3	2	1
10	地球や宇宙がどのようにできたかを調べることに興味があるか。	4	3	2	1
11	地震や火山や台風の被害をどう防ぐかに興味があるか。	4	3	2	1
12	科学技術についてのニュースや話題に関心があるか。	4	3	2	1
13	家の人または友達と水族館に行ったことがあるか。	4	3	2	1
14	家の人または友達と科学館に行ったことがあるか。	4	3	2	1
15	家の人または友達と博物館に行ったことがあるか。	4	3	2	1
16	こん虫をつかまえたことがあるか。	4	3	2	1
17	こん虫を飼育したことがあるか。	4	3	2	1
18	魚をつつたり、つかまえたりしたことがあるか。	4	3	2	1
19	魚(金魚や熱帯魚)を飼育したことがあるか。	4	3	2	1
20	動物(ペット)を育てたことがあるか。	4	3	2	1
21	動物(ペット)の死を見たことがあるか。	4	3	2	1
22	草花や野草で遊んだことがあるか。	4	3	2	1
23	自分で草花や野菜を種子から育てたことがあるか。	4	3	2	1
24	虫や動物、または虫や動物が主人公のマンガを読んだことがあるか。	4	3	2	1
25	図鑑(動物・植物)を見たことがあるか。	4	3	2	1
26	動物の飼育の仕方が書いてある本を読んだことがあるか。	4	3	2	1
27	昆虫記を読んだことがあるか。	4	3	2	1
28	木や木の実などで、何かを作ったことがあるか。	4	3	2	1
29	ぬいぐるみや編み物など、手芸作品を作ったことがあるか。	4	3	2	1
30	プラモデルや模型を作ったことがあるか。	4	3	2	1
31	ものを組み立てたり、作ったりするのが好きか。	4	3	2	1
32	不思議に思ったことを自分で確かめてみたことがあるか。	4	3	2	1
33	結果を予測して、観察、実験をしたことがあるか。	4	3	2	1
34	自分で考えた方法で、観察、実験をしたことがあるか。	4	3	2	1
35	観察、実験の結果に基づいて、筋道を立てて考えたことがあるか。	4	3	2	1
36	温度計の見方に自信があるか。	4	3	2	1
37	アルコールランプの使い方に自信があるか。	4	3	2	1
38	マッチを正しく安全にする自信があるか。	4	3	2	1
39	気体検知管の使い方に自信があるか。	4	3	2	1
40	理科は好きか。	4	3	2	1
41	理科の学習は面白いか。	4	3	2	1
42	理科で学ぶことに、役に立つことは多いと思うか。	4	3	2	1
43	観察、実験は好きか。	4	3	2	1
44	理科について興味があることを自分で調べたり学習したりしているか。	4	3	2	1
45	テレビで、理科に関係する番組をよく見る方か。	4	3	2	1

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている 観察・実験等における4QSの適用の可能性 －自然事象に関わる因果関係の観点から－

1. 問題の所在と目的

第1章では、研究課題1として、小学生の理科における「仮説設定能力」を育成するためには、自然事象から同定した変数を因果関係として認識させ、仮説を文章で表現させる指導の可能性を裏付ける根拠と示唆を得ることができた。

本章は、研究課題2に位置付くものであり、小・中学校の理科教科書（いずれも文部科学省検定済のX社の教科書）に掲載されている全ての観察・実験等の個々について4QSの適用の可能性を検討し、「4QSを用いて作業仮説を設定」、「4QSを用いないで説明仮説・作業仮説を設定」、「仮説なし」の3つのカテゴリーに分類することを試みた。

近年、知識基盤社会の進展に伴い、断片化された知識や技能ではなく、人間の全体的な能力をコンピテンシー（competency）として捉えた教育改革が世界的な潮流となっている。我が国の小学校では、1999年告示の小学校学習指導要領（理科）において、学年を通して育成する問題解決の能力が示された¹⁾。また、2008年告示の小学校学習指導要領（理科）では、第3学年では比較しながら調べることも、第4学年では関係付けながら調べるこ

とが、第5学年では条件に目を向けながら調べることが、第6学年では要因や規則性、関係を推論しながら調べることが学年の目標に示されている²⁾。第5学年で示された条件に目を向けることは、条件の制御である。条件の制御や推論は、“Science - A Process Approach commentary for teachers” (1963)において示された13のプロセス・スキルの一部である³⁾。

国立教育政策研究所⁴⁾は、21世紀を生きるために必要な資質・能力を基礎力・思考力・実践力から成る21世紀型能力として提案している。そして、思考力を構成する要素の1つとして、問題解決を挙げている。後藤⁵⁾は、「理科において問題解決の資質・能力、科学的な探究の能力を育成していくことは、21世紀型能力における各能力の育成に密接に関わり、十分寄与し得る」と述べている。筆者らは、理科における問題解決の資質・能力の育成を考えるに当たって、プロセス・スキルの重要性は不易であると考えている。

プロセス・スキルズは、観察・実験等の探究的な特徴を分析する上でも有効である。吉山・小林⁶⁾は中学校の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について、プロセス・スキルズの下に設定された57項目の目標が含まれている割合と傾向から分析を行い、さらに、吉山・小松・稲田・小林⁷⁾は小学校の理科教科書について同様の分析を行った。これらの知見から、観察・実験等の内容によって、探究に用いるプロセス・スキルズが異なることが示された。

しかし，“Science - A Process Approach commentary for teachers”で示されたプロセス・スキルズの下に設定された目標の中には，互いに類似したものがあつたり，日本の理科授業ではほとんど扱われないものがあつたりすることから，我が国の観察・実験等の分析にそのまま適用したことに問題があつた。そこで，長谷川・吉田・関根・田代・五島・稲田・小林⁸⁾は，57項目のプロセス・スキルズを精選・統合して，我が国の小・中学校の理科教育の実情に即した7つの上位技能と31の下位技能からなる「探究の技能」を開発した。そして，まず，全ての観察・実験等を対象に「探究の技能」における下位技能の1つ1つを含んでいるか否かを検討し，下位技能が含まれている場合は1，含まれていない場合は0として得点化した。次に，観察・実験等の探究的な特徴を類型化するために，それぞれの観察・実験等の下位技能の得点（含まれていれば1，含まれていなければ0）を独立変数として，Ward法による階層クラスター分析を行った。その結果，「探究の技能」の観点から，仮説を立てて検証する実験と仮説を立てにくい観察とを，より明確に区別できるようになった。

仮説を立てて検証する実験では，因果関係を明らかにするために条件を制御する能力が求められる。しかしながら，「平成24年度全国学力・学習状況調査報告書」⁹⁾¹⁰⁾において，小学生は「条件を制御しながら実験を構想すること」，中学生は「仮説を検証するための観察・実験を計画すること」及び「観察・実験等において，定量的な取り扱いをすること」にそれぞれ課題があることが示

された。そして、その結果を踏まえ、中学校における指導改善のポイントとして「独立変数の変化に応じて、従属変数がどのように変化するかを予想させること」が記された。

これまで、条件を制御したり、仮説を設定したりする能力を育成するための指導方法は種々検討されてきた。例えば、Martin, Colleen & Gerlovich¹¹⁾は、探究学習の教師用指導書の中で、プロセス・スキルズを紹介し、自然事象の観察を通して児童・生徒に変数を把握させる方法を述べている。Cothron, Giese & Rezba¹²⁾は、児童・生徒自身が自然事象の中から変数を抽出し、仮説の設定に至るまでのブレン・ストーミングの方法として“The Four Question Strategy”を提唱している。小林・永益¹³⁾は、Cothronらの考えに基づいて仮説設定シート(4QS)を開発するとともに、変数を抽出し仮説の設定に至るまでの指導方略を具体的に示している。さらに、条件の制御を伴う実験における4QSの効果を検証した研究として、小学校理科では山田・寺田・長谷川・稲田・小林¹⁴⁾、中学校理科では金子・小林¹⁵⁾¹⁶⁾がある。

これまで述べてきたように、4QSを用いて実験における独立変数と従属変数を挙げさせたり、条件の制御を伴う実験を計画させたりする指導方法は、「平成24年度全国学力・学習状況調査報告書」における指導改善のポイント、すなわち、今日の理科授業実践への示唆を得るものと考えられる。しかしながら、先述した長谷川ら¹⁷⁾の研究において、仮説の設定を伴うか伴わないかの観点からの観察・実験等の類型化は行われているが、個々の観察・

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

実験等について、4QSの適用が可能であるか否かを検討した研究は行われていない。

以上のことを踏まえ、本章では、長谷川らの観察・実験等の類型に基づいて、小・中学校の理科教科書（X社）に掲載されている全ての観察・実験等について、因果関係の有無の観点から検討を行い、4QSの適用が可能かどうかを明確にするとともに、適用の仕方を具体的に示すことを目的とした。

2. 研究の方法

2-1. 分析の対象とした小・中学校の理科教科書及び観察・実験等

小学校では2010年に出版された文部科学省検定済のX社の教科書、中学校では2008年に出版された文部科学省検定済のX社の教科書に掲載されている全ての観察・実験等を分析の対象とした。

X社の教科書を分析の対象とした理由は、本論文の筆頭著者を含め、後述する本研究の分析・解釈を行った理科教員4名が勤務する岐阜県内全域の小・中学校で採択されており、観察・実験等の個々について検討する際に、教員自身の具体的な理科授業実践に基づいた判断を行いやすいと考えたからである。

2-2. X社の小・中学校の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等の類型化とその特徴

分析の対象としたX社の小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等の類型化とその特徴を示す。長谷川らは、X社の小・中学校の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について、それぞれ階層クラスター分析を行った結果、小学校ではA、B、C、D、Eの5つのクラスターに、中学校ではA、B、C、D、E、Fの6つのクラスターに、それぞれ類型化できるとしている（表2-1、2-2）。さらに、これらの類型化から得られた各クラスターに含まれる観察・実験等の特徴についても整理している（表2-3、2-4）。

なお、長谷川らは、出力されたデンドログラムの上から順にアルファベットをふってクラスター名を付けている。従って、小・中学校のクラスターに同一のアルファベットが付してあっても、観察・実験等の特徴が異なるものとなっていることに注意が必要である。

2-3. 4QSの適用の可能性を明確にするための判断基準の設定

分析・解釈にあたっては、長谷川らの観察・実験等の類型化とその特徴に基づき、小・中学校の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について、4QSの適用の可能性を明確にするための判断基準を作成した（図2-1）。以下に、具体的な判断の仕方と手続きを示す。

観察については、全て4QSの適用は適切でないと判断した。例えば、小学校第4学年の「暑くなると」における「植物の成長のようすを観察しよう」では、従属変数としての「植物の葉の枚数や茎の長さ」と、独立変数としての「期間（時間）」との間に因果関係が認められるが、独立変数を児童自らが制御することは不可能であるとともに、成長に伴う形態の変化等を調べれば課題が解決できる。このように、観察は独立変数を制御することが不可能であったり、形態やつくりを調べれば課題を解決できたりするので、4QSの適用は適切でないと判断した。

実験については、まず、「定性的な実験」または「定量的な実験」のいずれかに分類した。次に、表2-1、2-2に示した長谷川らの研究に基づき、小学校におけるA、B、Cの3つのクラスター、及び中学校におけるA、

B, C, Dの4つのクラスターに分類された実験は「独立変数の制御や従属変数の測定が困難である」と判断し、「4QSを用いなくて説明仮説・作業仮説を設定」に分類した。また、小学校におけるD, Eの2つのクラスター、及び中学校におけるE, Fの2つのクラスターに分類された実験は「独立変数の制御と従属変数の測定が可能である」と判断し、「4QSを用いて作業仮説を設定」に分類した。

さらに、後者については、「児童・生徒自らが実験における独立変数と従属変数を抽出したり、条件を制御しながら実験を構想したりすることができるか否か」の検討を加えた（以下、「再検討」と表記）。なぜなら、先述した「平成24年度全国学力・学習状況調査報告書」^{18) 19)}における指導改善のポイントとして、小学校では「児童自らが見いだした問題から予想や仮説をもち、条件を制御しながら実験を構想すること」、中学校では「独立変数と従属変数を挙げるとともに、独立変数の変化に応じて、従属変数がどのように変化するかを予想すること」が指摘されているからである。

したがって、教員が実験の要因や条件の多くを教授しなければ、児童・生徒が4QSを記述することが困難であったり、所定の手順で実験を行い、得られた結果（従属変数）を記録することに主眼を置いていたりする観察・実験等については、「4QSを用いなくて説明仮説・作業仮説を設定」に分類し直した。例えば、小学校第3学年の「太陽の光を調べよう」における「はね返した日光が当たったところの温度を調べよう」は、Dクラスターに分

類された実験である。しかしながら、児童自らが「かがみの枚数」、「かがみではね返した日光を的に当てる時間」、「かがみからの的までの距離」といった、独立変数を全て制御しながら実験することは困難であることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

以上のような判断の仕方と手続きで、小・中学校の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等の個々について分析・解釈を行い、「4QSを用いて作業仮説を設定」、「4QSを用いないで説明仮説・作業仮説を設定」、「仮説なし」の3つのカテゴリーに分類した。

なお、本研究における一連の分析・解釈は、理科教育学研究者2名、指導主事1名、小・中学校での教職経験が15年以上の経験豊富な理科を専門とする教員4名で行った。具体的には、まず、筆頭著者を中心とした理科教員4名で、小学校第3学年の第1単元「たねをまこう」から中学校第3学年の最終単元「地球とわたしたちの未来のために」までの観察・実験等の個々について、教科書に掲載されている順に、4QSの適用の可能性を複数回協議した。そして、分析・解釈の不一致点を全て解消した後、その結果を筆頭著者が教科書掲載順に学年ごとの表に整理した。次に、整理した表の妥当性について、理科教育学研究者2名と指導主事1名が、それぞれ独立して分析・解釈を行い、その解釈に関して適宜、筆頭著者と討議した。最後に、理科教育学研究者2名と指導主事1名との討議結果を踏まえ、再度、理科教員4名で協議を積み重ね、不一致点を全て解消するとともに、最終的に導き出した分析結果を筆頭著者が教科書掲載順に学年ご

との表に整理した（表2-5から表2-11）。

以下に示した表2-5から表2-8の中の「番号」は、小学校第3学年から第6学年までの教科書に掲載されている観察・実験等の順に番号をふり当てたものであり、表2-9から表2-11のそれは、中学校第1学年から第3学年までを同様にふり当てたものである。

また、本研究では、「説明仮説」を「ある事象を説明するために導出した仮説」、「作業仮説」を「検証の手立てと予想される結果を記述した仮説」と定義することにした。

表2-1 X社の小学校の理科教科書におけるクラスターごとの観察・実験等の一覧（長谷川ら，2013より引用）

クラスター	番号	学年	領域	観察・実験等のタイトル
A	67	5	生物	花のつくりを観察しよう
	68	5	生物	おしべの先にある粉を観察しよう
	8	3	生物	いろいろな植物のからだのつくりを調べよう
	9	3	生物	バッタやトンボなどのからだを調べよう
	7	3	生物	植物のからだのつくりを調べよう
	99	6	地学	地層を調べよう
	3	3	生物	たまごやよう虫をかんさつしよう
	4	3	生物	さなぎをかんさつしよう
	27	4	生物	木や動物のようすを観察しよう
	90	6	生物	血液の通り道を調べよう
	2	3	生物	キャベツの葉を調べよう
	66	5	生物	水そうや池などの水を観察してメダカの食べものを調べよう
	71	5	地学	校庭に水を流して地面のようすを調べよう
	73	5	地学	わたしたちの地いきを流れる川を調べよう
	34	4	生物	うでやあしのつくりと動き方を調べよう
	35	4	生物	いろいろな部分のほねやきん肉のつくりと動き方を調べよう
	17	3	物理	日光を集めよう
	65	5	生物	たまごが変化するようすを観察しよう
	107	6	物理	手回し発電機で電気を作ろう
	10	3	生物	こん虫をさがそう
	23	3	物理	じしゃくのきょくのせいしつを調べよう
	103	6	化学	水よう液をリトマス紙につけて色の変化を調べよう
	85	6	化学	物を燃やすはたらきのある気体を調べよう
	5	3	生物	せい虫のからだのつくりを調べよう
	70	5	地学	台風の進み方と天気の変化を調べよう
	94	6	生物	人の食べ物のもとを調べよう
	75	5	生物	子宮の中での子どもの育ち方を調べよう
30	4	物理	電流の向きとモーターの回る向きを調べよう	
31	4	物理	かん電池2このつなぎ方を変えて自動車を走らせよう	
95	6	地学	太陽と月について調べよう	
97	6	地学	ボールに光を当てて月の形が変わって見える理由を調べよう	
20	3	物理	明かりがつくときのつなぎ方を調べよう	
96	6	地学	日ぼつ直後の月の形と位置を調べよう	
B	1	3	生物	めが出た後のようすをかんさつしよう
	12	3	生物	実のようすをかんさつしよう
	11	3	生物	花がさいているようすをかんさつしよう
	28	4	生物	ヘチマを育てよう
	6	3	生物	育っているようすをかんさつしよう
	37	4	生物	植物の成長のようすを観察しよう
	41	4	生物	植物の成長のようすを観察しよう
	54	4	生物	植物のようすを観察しよう
	58	4	生物	動物や植物のようすを観察しよう
	36	4	生物	動物の活動のようすを観察しよう
	40	4	生物	動物の活動のようすを観察しよう
	53	4	生物	動物の活動のようすを観察しよう
	47	4	化学	水を熱したときのようすを調べよう
	50	4	化学	水を冷やしたときのようすを調べよう
	15	3	地学	日なたと日かげの地面の温度を調べよう
	104	6	化学	金属にうすい塩酸を注ぐとどうなるか調べよう
	106	6	化学	液を蒸発させて出てきた固体の性質を調べよう
102	6	化学	5つの水よう液のちがいを調べよう	
105	6	化学	塩酸にとけた物を取り出そう	
22	3	物理	じしゃくにつく物をさがそう	

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

	51	4	地学	入れ物の水がしぜんにじょう発するか調べよう
	52	4	地学	空気中の水じょう気をつかまえよう
	45	4	化学	水の温度を変えて体積の変わり方を調べよう
	46	4	化学	金ぞくの温度を変えて体積の変わり方を調べよう
	24	3	物理	じしゃくにつけた鉄がじしゃくになっているか調べよう
	81	5	化学	ホウ酸が出てきた液を冷やそう
	98	6	地学	土を水の中に流しこんで層ができるか調べよう
	13	3	地学	太陽が動いているか調べよう
	63	5	生物	発芽する前と後の種子を調べよう
	21	3	物理	電気を通す物をさがそう
C	86	6	化学	ろうそくが燃える前と燃えた後の空気を調べよう
	43	4	化学	とじこめた水をおして体積を調べよう
	44	4	化学	空気の温度を変えて体積の変わり方を調べよう
	42	4	化学	とじこめた空気をおして体積や手ごたえを調べよう
	55	4	化学	金属のあたたまり方を調べよう
	56	4	化学	水を熱したときの動きを調べよう
	48	4	化学	湯気の正体をさぐろう
	49	4	化学	あわの正体をさぐろう
	29	4	地学	1日の気温の変わり方を調べよう
	87	6	化学	ろうそくが燃える前と燃えた後の気体の体積の割合を調べよう
	57	4	化学	空気のあたたまり方を調べよう
	88	6	生物	はき出した空気は吸う空気と違うか調べよう
	82	5	物理	電じしゃくの性質とはたらきを調べよう
	38	4	地学	時こくを変えて月の位置を調べよう
	39	4	地学	星の位置と星のならび方を調べよう
	14	3	地学	太陽とかげの動き方を調べよう
59	5	地学	雲のようすと天気の変化を調べよう	
60	5	地学	天気を観察して気象情報と比べよう	
	33	4	物理	光電池に日光を当てて電気のはたらきを調べよう
	108	6	物理	コンデンサーに電気をためて使おう
	77	5	化学	水にとける食塩の量を調べよう
	83	5	物理	電じしゃくのはたらきはどのようにすると大きくなるか調べよう
	101	6	物理	てこが水平につり合うときのきまりを調べよう
	32	4	物理	かん電池の数やつなぎ方を変えて電気のはたらきを調べよう
	74	5	物理	ふりこの1往復する時間を調べよう
D	25	3	化学	ねん土のおき方や形をかえて重さを調べよう
	26	3	化学	体せきを同じにしてしおとさとうの重さをくらべよう
	109	6	物理	太さのちがう電熱線に電流を流して発熱のちがいを調べよう
	76	5	化学	水にとかす前と水にとかした後の食塩の重さを調べよう
	93	6	生物	植物が酸素を出しているか調べよう
	18	3	物理	風のはたらきを調べよう
	19	3	物理	ゴムのはたらきを調べよう
	78	5	化学	水の量や温度を変えて水にとける食塩の量を調べよう
	80	5	化学	ホウ酸のとけ方を調べよう
	16	3	物理	はね返した日光が当たったところの温度を調べよう
	72	5	地学	土地のかたむきや水の量を変えて流れる水のはたらきを調べよう
	100	6	物理	おもりを持ち上げたときの手ごたえを調べよう
	69	5	生物	花粉のはたらきを調べよう
	91	6	生物	葉に日光が当たるとでんぶんができるか調べよう
E	79	5	化学	食塩水をじょう発させて食塩をとり出せるか調べよう
	89	6	生物	だ液がでんぶんを変化させるか調べよう
	62	5	生物	温度や空気と発芽の関係を調べよう
	64	5	生物	植物が成長する条件を調べよう
	61	5	生物	発芽に水が必要かを調べよう
	92	6	生物	根からとり入れた水のゆくえを調べよう
	84	6	化学	集気びんの中でろうそくを燃やし続ける方法を調べよう

注) 表中の「番号」は、小学校第3学年から第6学年までの教科書に掲載されている観察・実験等の順に番号をふり当てたものである。

表2-2 X社の中学校の理科教科書におけるクラスターごとの観察・実験等の一覧（長谷川ら，2013より引用）

クラスター	番号	学年	領域	観察・実験等のタイトル
A	52	2	物理	静電気が生じる条件とそのはたらき
	57	3	化学	塩化銅水溶液の電気分解
	36	2	化学	酸化銅から銅を取り出す
	32	2	化学	水に電流を流したときの変化
	33	2	化学	鉄と硫黄の結びつき
	31	2	化学	炭酸水素ナトリウムを熱したときの変化
	56	3	化学	物質を水にとかしたときに電流が流れるか
	35	2	化学	鉄を燃やしたときの変化
	13	1	化学	二酸化炭素と酸素の区別
	29	1	地学	堆積岩のつくり
	11	1	化学	白い粉末の区別
	12	1	化学	プラスチックの区別
	10	1	化学	金属と金属でない物質の区別
	59	3	化学	酸性、アルカリ性の水溶液の性質
	60	3	化学	イオンの移動
	B	1	1	生物
2		1	生物	水中の小さな生物
3		1	生物	いろいろな植物の花のつくり
8		1	生物	根と茎のつくり
26		1	地学	火山灰の観察
27		1	地学	火成岩のつくり
4		1	生物	葉のつくり
9		1	生物	シダ植物のからだのつくりと胞子
40		2	生物	植物と動物の細胞のつくり
44		2	生物	無セキツイ動物のからだのつくりや動き方
71	3	地学	太陽の表面のようす	
C	5	1	生物	光合成が行われている場所
	61	3	化学	酸とアルカリの水溶液を混ぜ合わせる
	50	2	物理	磁界の中に置いた導線に電流を流す
	72	3	地学	太陽の1日の動き
	49	2	物理	コイルを流れる電流がつくる磁界
	73	3	地学	星の1日の動き
	76	3	地学	月の形と位置
	75	3	地学	季節による昼と夜の長さの変化

注) 表中の「番号」は、中学校第1学年から第3学年までの教科書に掲載されている観察・実験等の順に番号をふり当てたものである。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

D	34	2	化学	化学変化を原子・分子のモデルで表す
	64	3	生物	遺伝子の組み合わせ
	74	3	地学	地球の公転と見える星座の関係
	62	3	生物	細胞分裂のようす
	63	3	生物	花粉管がのびるようす
	42	2	生物	血液の流れ
	43	2	生物	刺激に対する反応
	79	3	生物	身近な自然の恵みと自然災害
	80	3	生物	自然環境の保全と科学技術の利用
	30	1	地学	地層の観察
	78	3	生物	身近な自然環境の調査
	41	2	生物	だ液によるデンプン溶液の変化
E	23	1	物理	力の大きさとばねののびの関係
	66	3	物理	斜面を下る台車の運動
	47	2	物理	電圧を変化させたときの電流の大きさ
	69	3	物理	小球のもつエネルギーと木片に衝突したときにする仕事
	48	2	物理	電熱線の発熱量を決めるもの
	18	1	化学	赤ワインを熱して出てくる物質
	38	2	化学	金属を熱したときの質量の変化
F	45	2	物理	直列回路と並列回路を流れる電流
	46	2	物理	直列回路と並列回路に加わる電圧
	14	1	化学	水にとける物質のようす
	37	2	化学	物質が化学変化する前と後の質量を比べる
	16	1	化学	ロウが状態変化するときの体積変化や質量の変化
	53	2	地学	学校内の気象観測
	65	3	物理	台車のいろいろな運動の記録
	17	1	化学	エタノールが沸騰するときの温度
	54	2	地学	湿度が100%になる温度
	19	1	物理	鏡に当たった光の進む道筋
	20	1	物理	透明な物体に出入りする光の道筋
	21	1	物理	凸レンズによってできる像
	67	3	物理	向きが異なる2つの力の合力
	39	2	化学	いろいろな化学変化による温度変化
	70	3	物理	滑車やてこを使ったときの仕事の大きさ
	77	3	物理	エネルギーの移り変わり
	6	1	生物	光合成と二酸化炭素の関係
	7	1	生物	蒸散と吸い上げられる水の量の関係
	22	1	物理	音の大小や高低と物体の振動との関係
	24	1	物理	水圧の大きさやはたらく向き
	55	2	地学	雲のでき方
	58	3	化学	電解質の水溶液と金属板で電流が取り出せるか調べよう
	51	2	物理	コイルと磁石で電流をつくりだす条件
	15	1	化学	水にとけた物質をとり出す
	25	1	物理	浮力の大きさを決めるもの
	68	3	物理	物体のもつエネルギーの変化
	28	1	地学	地震のゆれの広がり

表2-3 小学校の各クラスターに含まれる観察・実験等の特徴（長谷川ら，2013より引用）

クラスター名	各クラスターの特徴
Aクラスター	事象の変化・性質・構造等を調べ，記載を行う観察・実験群
Bクラスター	事象の変化・性質・構造等を計測したり観測したりして，記載を行う観察・実験群
Cクラスター	仮説を立てて，事象の性質や変化等を定性的に捉え，解釈する観察・実験群
Dクラスター	仮説を立てて，独立変数を制御し，従属変数を測定し，定量的に解釈する観察・実験群
Eクラスター	仮説を立てて，独立変数を制御し，従属変数の変化を捉え，定性的に解釈する観察・実験群

表2-4 中学校の各クラスターに含まれる観察・実験等の特徴（長谷川ら，2013より引用）

クラスター名	各クラスターの特徴
Aクラスター	因果関係を有する事象の変化を操作的に定義し，帰納的に一般化する観察・実験群
Bクラスター	事象の変化や構造等の観察と記載を行う観察・実験群
Cクラスター	因果関係を有する単純な事象の変化そのものから規則性を見いだす観察・実験群
Dクラスター	1つまたは複数の変数に関わる事象について規則性や法則性を見いだす観察・実験群
Eクラスター	因果関係を有する単純な事象について，仮説を設定して収集した定量的なデータをグラフ化するなどして，一般化する観察・実験群
Fクラスター	因果関係を有する事象について，条件ごとに変数を制御することを通して規則性を見いだす観察・実験群

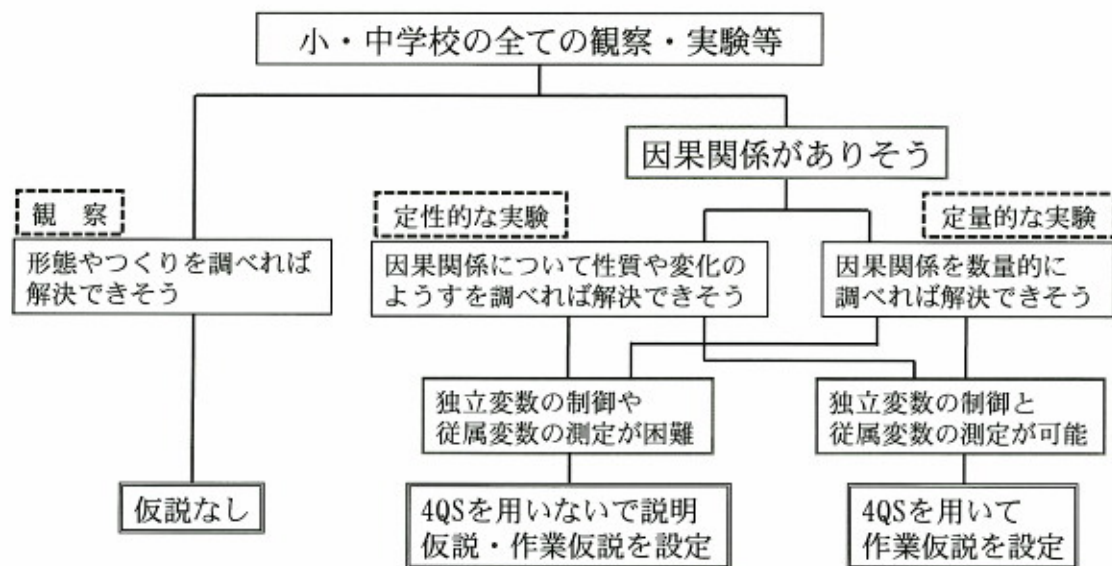


図 2 - 1 4QS の適用の可能性を明確にするための判断基準

3. 結果と考察

本章では、X社の小・中学校の理科教科書を対象として、小学校第3学年の第1単元から中学校第3学年の最終単元までの観察・実験等の個々について、教科書に掲載されている順に、まず、因果関係の有無の観点から捉え直し、図2-1に示した4QSの適用の可能性を明確にするための判断基準に基づいて分析・解釈を行った。次に、「4QSを用いて作業仮説を設定」に分類された観察・実験等については、「児童・生徒自らが実験における独立変数と従属変数を抽出したり、条件を制御しながら実験を構想したりすることができるか否か」の検討を加えた。

以下に、小・中学校のそれぞれの観察・実験等における4QSの適用の可能性について述べる。なお、分析・解釈にあたっては、学年、科学の基本的な見方や概念の柱、クラスター等、複数の要因から検討が可能であると考えられる。しかし、本研究では、教科書に掲載されている観察・実験等の順に協議を積み重ねてきたため、小学校第3学年から学年ごとに述べていくことにする。

3-1. 小学校の観察・実験等における4QSの適用の可能性

3-1-1. 小学校第3学年について

第3学年では、教科書に掲載されている26の観察・実験等のうち、観察が16、実験が10であった(表2-5)。10の実験のうち、表2-3に示したCクラスターに分類される実験が5、Dクラスターに分類される定量的な実験が5

であった。

そこで、Dクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「はね返した日光が当たったところの温度を調べよう」では、従属変数としての「日光が当たったところの温度」と、独立変数としての「かがみではね返した日光」との間に因果関係が認められる。しかしながら、児童自らが「かがみの枚数」、「かがみではね返した日光を的に当てる時間」、「かがみからの的までの距離」といった、独立変数を全て制御しながら実験することは困難であることから、4QSの適用は適切でないと判断した。「風のはたらきを調べよう」、「ゴムのはたらきを調べよう」では、従属変数としての「車の動く距離」と、独立変数としての「風やゴムの力」との間に因果関係が認められる。しかし、ここでの指導にあたっては、風を受けたときやゴムを働かせたときの手ごたえ等の体感を基にした活動を重視しており²⁰⁾、正確な独立変数の制御や従属変数の数値化は求められていない。併せて、児童自らが「ゴムの長さ」、「ゴムの数」、「ゴムの太さ」といった、全ての独立変数を抽出したり制御したりすることは困難であることから、4QSの適用は適切でないと判断した。「ねん土のおき方や形をかえて重さを調べよう」、「体せきを同じにしてしおとさとうの重さをくらべよう」では、従属変数としての「ねん土や塩、砂糖の重さ」を、自動上皿はかりを用いて数値化するため、長谷川らの研究では定量的に解釈する実験に分類されたと推察される。しかし、ここでの指導にあたっては、手ごたえ等の体感を基にしながら重さの違いを比較するとともに²¹⁾、所定の手順で実験を行い、得られた結果

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

(従属変数)を記録することに主眼を置いていることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

以上のことから、第3学年では、26の観察・実験等の全てにおいて4QSの適用は適切でないと考えられる。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

表2-5 X社の小学校第3学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等における4QSの適用の可能性

番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	類型	因果関係がありそう				観察 仮説なし	
				4QSを用いて作業仮説を設定					4QSを用い ないで 説明仮説・作 業仮説を設定
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4		
1	生命	めが出た後のようすをかんさつしよう	B						○
2	生命	キャベツの葉を調べよう	A						○
3	生命	たまごやよう虫をかんさつしよう	A						○
4	生命	さなぎをかんさつしよう	A						○
5	生命	せい虫のからだのつくりを調べよう	A						○
6	生命	育っているようすをかんさつしよう	B						○
7	生命	植物のからだのつくりを調べよう	A						○
8	生命	いろいろな植物のからだのつくりを調べよう	A						○
9	生命	バッタやトンボなどのからだを調べよう	A						○
10	生命	こん虫をさがそう	A						○
11	生命	花がさいているようすをかんさつしよう	B						○
12	生命	実のようすをかんさつしよう	B						○
13	地球	太陽が動いているか調べよう	C					○	
14	地球	太陽とかけの動き方を調べよう	C					○	
15	地球	日なたと日かげの地面の温度を調べよう	B						○
16	エネルギー	はね返した日光が当たったところの温度を調べよう	D					○	
17	エネルギー	日光を集めよう	A						○
18	エネルギー	風のはたらきを調べよう	D					○	
19	エネルギー	ゴムのはたらきを調べよう	D					○	
20	エネルギー	明かりがつくときのつなぎ方を調べよう	A						○
21	エネルギー	電気を運す物をさがそう	C					○	
22	エネルギー	じしゃくにつく物をさがそう	C					○	
23	エネルギー	じしゃくのきょくのせいしつを調べよう	A						○
24	エネルギー	じしゃくにつけた鉄がじしゃくになっているか調べよう	C					○	
25	粒子	ねん土のおき方や形をかえて重さを調べよう	D					○	
26	粒子	体せきを同じにしてしおとさとうの重さをくらべよう	D					○	

注) 番号, 観察・実験等のタイトル, 類型は表2-1に対応する。概念の柱は, 「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」を柱とした内容の構成に基づいて分類した。表中の「○」は, 図2-1に即した検討の結果を示す。

3-1-2. 小学校第4学年について

第4学年では、教科書に掲載されている32の観察・実験等のうち、観察が15、実験が17であった(表2-6)。17の実験のうち、表2-3に示したCクラスターに分類される実験が15、Dクラスターに分類される定量的な実験が2であった。

そこで、Dクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「かん電池の数やつなぎ方を変えて電気のはたらきを調べよう」、「光電池に日光を当てて電気のはたらきを調べよう」では、従属変数としての「電気のはたらき」を簡易検流計を用いて測定するため、長谷川らの研究では定量的に解釈する実験に分類されたと推察される。しかし、ここでの指導にあたっては、簡易検流計を使って電流の強さや向きを測定するように指示したり、独立変数としての「乾電池の数やつなぎ方」、「光電池に当てる光の強さ」について、実験の要因や条件を詳細に説明したりする必要があることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

以上のことから、第4学年では、32の観察・実験等の全てにおいて4QSの適用は適切でないと考えられる。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

表2-6 X社の小学校第4学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等における4QSの適用の可能性

番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	類型	因果関係がありそう				観察 仮説なし	
				4QSを用いて作業仮説を設定					4QSを用いないで 説明仮説・作業 仮説を設定
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4		
27	生命	木や動物のようすを観察しよう	A					○	
28	生命	ヘチマを育てよう	B					○	
29	地球	1日の気温の変わり方を調べよう	C				○		
30	エネルギー	電流の向きとモーターの回る向きを調べよう	A					○	
31	エネルギー	かん電池2このつなぎ方を変えて自動車を走らせよう	A					○	
32	エネルギー	かん電池の数やつなぎ方を変えて電気のはたらきを調べよう	D				○		
33	エネルギー	光電池に日光を当てて電気のはたらきを調べよう	D				○		
34	生命	うでやあしのつくりと動き方を調べよう	A					○	
35	生命	いろいろな部分のほねやさん肉のつくりと動き方を調べよう	A					○	
36	生命	動物の活動のようすを観察しよう	B					○	
37	生命	植物の成長のようすを観察しよう	B					○	
38	地球	時こくを変えて月の位置を調べよう	C				○		
39	地球	星の位置と星のならび方を調べよう	C				○		
40	生命	動物の活動のようすを観察しよう	B					○	
41	生命	植物の成長のようすを観察しよう	B					○	
42	粒子	とじこめた空気をおして体積や手ごたえを調べよう	C				○		
43	粒子	とじこめた水をおして体積を調べよう	C				○		
44	粒子	空気の温度を変えて体積の変わり方を調べよう	C				○		
45	粒子	水の温度を変えて体積の変わり方を調べよう	C				○		
46	粒子	金ぞくの温度を変えて体積の変わり方を調べよう	C				○		
47	粒子	水を熱したときのようすを調べよう	B					○	
48	粒子	湯気の正体をさぐろう	C				○		
49	粒子	あわの正体をさぐろう	C				○		
50	粒子	水を冷やしたときのようすを調べよう	B					○	
51	粒子	入れ物の水がしぜんにじょう発するか調べよう	C				○		
52	粒子	空気中の水じょう気をつかまえよう	C				○		
53	生命	動物の活動のようすを観察しよう	B					○	
54	生命	植物のようすを観察しよう	B					○	
55	粒子	金属のあたたまり方を調べよう	C				○		
56	粒子	水を熱したときの動きを調べよう	C				○		
57	粒子	空気のあたたまり方を調べよう	C				○		
58	生命	動物や植物のようすを観察しよう	B					○	

注) 番号, 観察・実験等のタイトル, 類型は表2-1に対応する。概念の柱は, 「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」を柱とした内容の構成に基づいて分類した。表中の「○」は, 図2-1に即した検討の結果を示す。

3-1-3. 小学校第5学年について

第5学年では、教科書に掲載されている25の観察・実験等のうち、観察が8、実験が17であった(表2-7)。17の実験のうち、表2-3に示したCクラスターに分類される実験が5、Dクラスターに分類される定量的な実験が6、Eクラスターに分類される定性的な実験が6であった。

そこで、まず、Dクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「ふりこの1往復する時間を調べよう」、「電じしゃくのはたらきはどのようにすると大きくなるか調べよう」では、表2-7に示したように、従属変数と独立変数の抽出が可能であるとともに、身に付けている知識や概念を基に仮説を立て、それを検証するための要因となる独立変数を制御したり、従属変数の変化を捉え解釈したりすることが期待されることから、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「水にとかず前と水にとかした後の食塩の重さを調べよう」、「水にとける食塩の量を調べよう」、「水の量や温度を変えて水にとける食塩の量を調べよう」、「ホウ酸のとけ方を調べよう」については、従属変数としての「物(食塩やホウ酸)の重さに水の重さを加えた全体の重さ」を、はかりを用いて数値化するため、長谷川らの研究では定量的に解釈する実験に分類されたと推察される。しかし、ここでの指導にあたっては、独立変数としての「水の量や温度」、「物(食塩やホウ酸)の重さ」を、教授された実験の条件に従って所定の手順で実験を行い、得られた結果(従属変数)を記録することに主眼を置いていることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

次に、Eクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「発芽に水が必要かを調べよう」、「温度や空気と発芽の関係を調べよう」、「植物が成長する条件を調べよう」、「花粉のはたらきを調べよう」、「土地のかたむきや水の量を変えて流れる水のはたらきを調べよう」では、表2-7に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「食塩水をじょう発させて食塩をとり出せるか調べよう」については、教授された所定の手順で実験を行い、得られた結果（従属変数）を定性的に捉えさせることに主眼を置いていることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

以上のことから、第5学年では、25の観察・実験等のうち、7つの実験において4QSの適用は可能であると考えられる。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

表2-7 X社の小学校第5学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等における4QSの適用の可能性

番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	類型	因果関係がありそう				4QSを用いないで説明仮説・作業仮説を設定	観察
				4QSを用いて作業仮説を設定					
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4		
59	地球	雲のようすと天気の変化を調べよう	C					○	
60	地球	天気を観察して気象情報と比べよう	C					○	
61	生命	発芽に必要なかを調べよう	E	種子の発芽	水	水の有無	種子の発芽のようすを調べる		
62	生命	温度や空気と発芽の関係を調べよう	E	種子の発芽	温度・空気	温度・空気を変える	種子の発芽のようすを調べる		
63	生命	発芽する前と後の種子を調べよう	C					○	
64	生命	植物が成長する条件を調べよう	E	インゲンマメの成長	肥料・日光	肥料・日光の有無	葉の枚数・茎の長さ		
65	生命	たまごが変化するようすを観察しよう	A						○
66	生命	水そうや池などの水を観察してメダカの食べものを調べよう	A						○
67	生命	花のつくりを観察しよう	A						○
68	生命	おしべの先にある粉を観察しよう	A						○
69	生命	花粉のはたらきを調べよう	E	実ができるかどうか	花粉	花粉の有無	実のつき方を調べる		
70	地球	台風の影響と天気の変化を調べよう	A						○
71	地球	枝葉に水を流して地面のようすを調べよう	A						○
72	地球	土のかたむきや水の量を量えて流れる水のはたらきを調べよう	E	土のけずられ方	土地のかたむき・水の量	土地のかたむき・水の量を変える	土のけずられ方を調べる		
73	地球	わたしたちの住まいを流れる川を調べよう	A						○
74	エネルギー	ふりこの1往復する時間を調べよう	D	ふりこの1往復する時間	糸の長さ・振り幅・おもりの重さ	糸の長さ・振り幅・おもりの重さを変える	ストップウォッチで測定する		
75	生命	子宮の中での子どもの育ち方を調べよう	A						○
76	粒子	水にとけずる食塩と水にとけた後の食塩の重さを調べよう	D					○	
77	粒子	水にとける食塩の量を調べよう	D					○	
78	粒子	水の量や温度を変えて水にとける食塩の量を調べよう	D					○	
79	粒子	食塩水をじょうろさせて食塩をとり出せるかを調べよう	E					○	
80	粒子	おウロのつけ方を調べよう	D					○	
81	粒子	おウロが出てきた液を冷やそう	C					○	
82	エネルギー	磁じしゃくの性質とはたらきを調べよう	C					○	
83	エネルギー	磁じしゃくのはたらきはどのようにすると大きくなるかを調べよう	D	磁じしゃくの強さ	コイルの巻き数・鉄心の種類	コイルの巻き数・鉄心の種類を変える	クリップがくっつく数		

注) 番号, 観察・実験等のタイトル, 類型は表2-1に対応する。概念の柱は, 「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」を柱とした内容の構成に基づいて分類した。表中の「○」は, 図2-1に即した検討の結果を示す。さらに, 4QSの適用が可能であると判断した実験については, その適用の仕方を具体的に示す。

3-1-4. 小学校第6学年について

第6学年では、教科書に掲載されている26の観察・実験等のうち、観察が8、実験がであった（表2-8）。の実験のうち、表2-3に示したAクラスターに分類される実験が1、Cクラスターに分類される実験が8、Dクラスターに分類される定量的な実験が4、Eクラスターに分類される定性的な実験が5であった。

そこで、まず、Dクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「てこが水平につり合うときのきまりを調べよう」、「コンデンサーに電気をためて使おう」、「太さのちがう電熱線に電流を流して発熱のちがいを調べよう」では、表2-8に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「植物が酸素を出しているか調べよう」については、「植物に日光が当たると、二酸化炭素をとり入れて酸素を出す」といった、因果関係を有する自然事象であり、従属変数としての「酸素と二酸化炭素の体積の割合」の変化を定量的に捉えさせる実験であるものの、独立変数としての「日光」の有無について所定の手順で実験を行い、得られた結果（従属変数）を記録することに主眼を置いていることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

次に、Eクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「集気びんの中でろうそくを燃やし続ける方法を調べよう」、「だ液がでんぷんを変化させるか調べよう」、「葉に日光が当たるとでんぷんができるか調べよう」では、表2-8に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「根からとり入

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

れた水のゆくえを調べよう」については，教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い，得られた結果（従属変数）を記録することに主眼を置いていることから，4QSの適用は適切でないと判断した。また，「おもりを持ち上げたときの手ごたえを調べよう」については，独立変数としての「力を加える位置」や「力の大きさ」を制御する実験であるものの，手ごたえ（体感）を基にしながら重さの違いを比較する活動を重視していることから，4QSの適用は適切でないと判断した。

以上のことから，第6学年では，26の観察・実験等のうち，6つの実験において4QSの適用は可能であると考えられる。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

表2-8 X社の小学校第6学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等における4QSの適用の可能性

番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	類型	因果関係がありそう				4QSを用いないで 説明設定・作業 仮説を設定	観察 仮説なし
				4QSを用いて作業仮説を設定					
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4		
84	粒子	集気びんの中でろうそくを燃やし続ける方法を調べよう	E	ろうそくが燃え続ける 時間	空気	空気の通り道	ストップウォッチで 測定する		○
85	粒子	数を数えずはたらきのある気体を調べよう	A						
86	粒子	ろうそくが燃える前と燃えた後の空気を調べよう	C					○	
87	粒子	ろうそくが燃える前と燃えた後の気体の体積の割合を調べよう	C					○	
88	生命	はき出した空気は暖かい空気と違うか調べよう	C					○	
89	生命	だ液ででんぷんを変化させるか調べよう	E	でんぷんがあるか どうか	だ液	だ液の有無	ヨウ素ででんぷん反応を 調べる		
90	生命	食塩の通り道を調べよう	A						○
91	生命	森に日光が当たるとでんぷんができるか調べよう	E	でんぷんができるか どうか	日光	日光の有無	ヨウ素ででんぷん反応を 調べる		
92	生命	根からとり入れた水のゆくえを調べよう	E					○	
93	生命	植物が養分を出しているか調べよう	D					○	
94	生命	人の食べ物のもとを調べよう	A						○
95	地球	太陽と月について調べよう	A						○
96	地球	日ばつ直後の月の形と位置を調べよう	A						○
97	地球	ボールに光を当てて月の形が変わって見える理由を調べよう	A					○	
98	地球	土を水の中に流しこんで調べることができるか調べよう	C					○	
99	地球	埃塵を調べよう	A						○
100	エネルギー	おもりを持ち上げたときの手の力を調べよう	E					○	
101	エネルギー	てこが水平につり合うときのまわりを調べよう	D	てこをかたむける はたらき	力を加える位置・ 力の大きさ	力を加える位置・ 力の大きさを受える	てこが水平につり合うか どうか調べる		
102	粒子	5つの水より酸のちがいを調べよう	C					○	
103	粒子	赤よう液をリトマス紙につけて色の変化を調べよう	A						○
104	粒子	金属にうすい塩酸を注ぐとどうなるか調べよう	C					○	
105	粒子	塩酸にとけた物をとり出そう	C					○	
106	粒子	液を蒸発させて出てきた固体の性質を調べよう	C					○	
107	エネルギー	手回し発電機で電気をつくらう	A						○
108	エネルギー	コンデンサーに電気をためて使おう	D	ためた電気の量	手回し発電機	手回し発電機を回す速さ・ 回転数を変える	LEDの発光時間を 測定する		
109	エネルギー	太さのちがう電熱線に電流を流して発熱のちがいを調べよう	D	発熱のしかた	電熱線の太さ	電熱線の太さを変える	水の温度を温度計で 測定する		

注) 番号, 観察・実験等のタイトル, 類型は表2-1に対応する。概念の柱は, 「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」を柱とした内容の構成に基づいて分類した。表中の「○」は, 図2-1に即した検討の結果を示す。さらに, 4QSの適用が可能であると判断した実験については, その適用の仕方を具体的に示す。

3-2. 中学校の観察・実験等における4QSの適用の可能性

3-2-1. 中学校第1学年について

第1学年では、教科書に掲載されている30の観察・実験等のうち、観察が9、実験が21であった(表2-9)。21の実験のうち、表2-4に示したAクラスターに分類される実験が5、Cクラスターに分類される実験が1、Eクラスターに分類される定量的な実験が2、Fクラスターに分類される条件制御を伴う実験が13であった。

そこで、まず、Eクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「力の大きさとばねののびの関係」では、表2-9に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「赤ワインを熱して出てくる物質」については、教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い、得られた結果(従属変数)を記録することに主眼を置いていることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

次に、Fクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「光合成と二酸化炭素の関係」、「蒸散と吸い上げられる水の量の関係」、「水圧の大きさやはたらく向き」、「浮力の大きさを決めるもの」では、表2-9に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「水にとける物質のようす」、「水にとけた物質をとり出す」、「ロウが状態変化するときの体積変化や質量の変化」、「エタノールが沸騰するときの温度」、「鏡に当たった光の進む道筋」、「透明な物体に出入りする光の道筋」、「凸レンズによってできる像」、「音の大小

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

や高低と物体の振動との関係」, 「地震のゆれの広がり」については, 教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い, 得られた結果(従属変数)を記録することに主眼を置いていることから, 4QSの適用は適切でないと判断した。

以上のことから, 第1学年では, 30の観察・実験等のうち, 5つの実験において4QSの適用は可能であると考えられる。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

表2-9 X社の中学校第1学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等における4QSの適用の可能性

番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	類型	因果関係がありそう				4QSを用いないで 説明段階・作業 仮説を設定	観察なし
				4QSを用いて作業仮説を設定					
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4		
1	生命	校庭や学校周辺の生物	B						○
2	生命	水中の小さな生物	B						○
3	生命	いろいろな植物の花のつくり	B						○
4	生命	葉のつくり	B						○
5	生命	光合成が行われている場所	C					○	
6	生命	光合成と二酸化炭素の関係	F	二酸化炭素の量	光	光の有無	石灰水の反応を調べる		
7	生命	葉遣と根い上げられる水の量の関係	F	根い上げられる水の量	ワセリンをぬった葉	ワセリンのぬり方	メスシリンダーで測定する		
8	生命	根と茎のつくり	B						○
9	生命	シダ植物のからだのつくりと働き	B						○
10	粒子	金属と金属でない物質の区別	A					○	
11	粒子	白い粉末の区別	A					○	
12	粒子	プラスチックの区別	A					○	
13	粒子	二酸化炭素と酸素の区別	A					○	
14	粒子	水にとける物質のようす	F					○	
15	粒子	水にとけた物質をとり出す	F					○	
16	粒子	ろうが状物質をはずすときの体積変化や質量の変化	F					○	
17	粒子	エタノールが揮発するときの温度	F					○	
18	粒子	赤ワインを熱して出てくる物質	E					○	
19	エネルギー	鏡に当たった光の進む道筋	F					○	
20	エネルギー	透明な物体に出入りする光の道筋	F					○	
21	エネルギー	凸レンズによってできる像	F					○	
22	エネルギー	音の大小や音程と物体の振動との関係	F					○	
23	エネルギー	力の大きさとばねののびの関係	E	ばねののび	力の大きさ	おもりの数を変える	ばねののびを測定する		
24	エネルギー	水圧の大きさやはたらく向き	F	水圧の大きさ	水深	水深を変える	ゴム膜のへこみ方を調べる		
25	エネルギー	浮力の大きさを決めるもの	F	浮力の大きさ	物体の質量・体積	質量・体積を変える	ばねばかりで測定する		
26	地球	火山口の観察	B						○
27	地球	火成岩のつくり	B						○
28	地球	地層のゆれの正がり	F					○	
29	地球	堆積岩のつくり	A					○	
30	地球	地層の観察	D						○

注) 番号, 観察・実験等のタイトル, 類型は表2-2に対応する。概念の柱は, 「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」を柱とした内容の構成に基づいて分類した。表中の「○」は, 図2-1に即した検討の結果を示す。さらに, 4QSの適用が可能であると判断した実験については, その適用の仕方を具体的に示す。

3-2-2. 中学校第2学年について

第2学年では、教科書に掲載されている25の観察・実験等のうち、観察が4、実験が21であった（表2-10）。21の実験のうち、表2-4に示したAクラスターに分類される実験が6、Cクラスターに分類される実験が2、Dクラスターに分類される実験が3、Eクラスターに分類される定量的な実験が3、Fクラスターに分類される条件制御を伴う実験が7であった。

そこで、まず、Eクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「電圧を変化させたときの電流の大きさ」、「電熱線の発熱量を決めるもの」では、表2-10に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「金属を熱したときの物質の変化」については、独立変数としての「金属の質量」を所定の手順で変化させる実験であることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

次に、Fクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「コイルと磁界で電流をつくり出す条件」、「雲のでき方」では、表2-10に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「物質が化学変化する前と後の質量を比べる」、「いろいろな化学変化による温度変化」、「直列回路と並列回路を流れる電流」、「直列回路と並列回路に加わる電圧」については、因果関係を有する自然事象であり、従属変数が定量的なデータであるものの、教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い、得られた結果（従属変数）を記録することに主眼を置いていることから、4QS

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

の適用は適切でないと判断した。また、「湿度が100%になる温度」については、自然事象の性質を操作的に定義し、検証的に実験を行わせることに主眼を置いていることから、4QSの適用は適切でないと判断した。

なお、Dクラスターに分類された「だ液によるデンプン溶液の変化」の実験は、小学校第6学年「だ液がでんぷんを変化させるか調べよう」(Eクラスター)における解釈や条件の制御をより具体化・高度化させたものであることから、4QSの適用は可能であると判断した。

以上のことから、第2学年では、25の観察・実験等のうち、5つの実験において4QSの適用は可能であると考えられる。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

表2-10 X社の中学校第2学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等における4QSの適用の可能性

番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	類型	因果関係がありそう				4QSを用いないで 獨特な観・作業 仮説を設定	観察 仮説なし
				4QSを用いて作業仮説を設定					
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4		
31	粒子	硫酸水素ナトリウムを熱したときの変化	A					○	
32	粒子	水に電流を流したときの変化	A					○	
33	粒子	鉄と納米の結びつき	A					○	
34	粒子	化学変化を原子・分子のモデルで表す	D						○
35	粒子	鉄を熱やしたときの変化	A					○	
36	粒子	酸化銅から銅を取り出す	A					○	
37	粒子	物質が化学変化する前後の質量を比べる	F					○	
38	粒子	金属を熱したときの物質の変化	E					○	
39	粒子	いろいろな化学変化による密度変化	F					○	
40	生命	植物と動物の細胞のつくり	B						○
41	生命	だ液によるゼンブン液の変化	D	ゼンブン液の変化	だ液	だ液の有無	ヨウ素液・ペニンクト液 の反応を観る		
42	生命	菌糸の成長	D					○	
43	生命	刺激に対する反応	D					○	
44	生命	無セオツイ動物のからだのつくりや働き方	B						○
45	エネルギー	直列回路と並列回路を通れる電流	F					○	
46	エネルギー	直列回路と並列回路に加わる電圧	F					○	
47	エネルギー	電圧を変化させたときの電流の大きさ	E	電流の大きさ	電熱線に加わる電圧	電圧を変える	電流計で測定する		
48	エネルギー	電熱線の発熱量を決めるもの	E	水の温度の上昇	電力の大きさ	電流を流す時間を変える	温度計で測定する		
49	エネルギー	コイルを通れる電流がつくる磁界	C					○	
50	エネルギー	磁界の中に置いた導線に電流を流す	C					○	
51	エネルギー	コイルと磁界で電流をつくり出す条件	F	電流の発生	コイルの中の導線石	導線石を動かす向きと 向きを変える	検流計で測定する		
52	エネルギー	静電気が生じる条件とそのはたらき	A					○	
53	地球	学校内の気象観測	F						○
54	地球	湿度が100%になる湿度	F					○	
55	地球	雲のでき方	F	空気温度	気圧	気圧を変える	湿度計で測定する		

注) 番号, 観察・実験等のタイトル, 類型は表2-2に対応する。概念の柱は, 「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」を柱とした内容の構成に基づいて分類した。表中の「○」は, 図2-1に即した検討の結果を示す。さらに, 4QSの適用が可能であると判断した実験については, その適用の仕方を具体的に示す。

3-2-3. 中学校第3学年について

第3学年では、教科書に掲載されている25の観察・実験等のうち、観察が12、実験が13であった(表2-11)。13の実験のうち、表2-4に示したAクラスターに分類される実験が4、Cクラスターに分類される実験が1、Eクラスターに分類される定量的な実験が2、Fクラスターに分類される条件制御を伴う実験が6であった。

そこで、まず、Eクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「斜面を下る台車の運動」、「小球のもつエネルギーと木片に衝突したときにする仕事」では、表2-11に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。

次に、Fクラスターに分類された実験について「再検討」を加えた。その結果、「物体のもつエネルギーの変化」では、表2-11に示したように、4QSの適用は可能であると判断した。その一方で、「電解質の水溶液と金属板で電流が取り出せるか調べよう」、「台車のいろいろな運動の記録」、「向きが異なる2つの力の合力」、「滑車やてこを使ったときの仕事の大きさ」、「エネルギーの移り変わり」については、得られる結果(従属変数)が明確であり、独立変数を制御しながら仮説を検証する科学的な探究活動は可能であるものの、教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行うため、4QSの適用は適切でないと判断した。

以上のことから、第3学年では、25の観察・実験等のうち、3つの実験において4QSの適用は可能であると考えられる。

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

表2-11 X社の中学校第3学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等における4QSの適用の可能性

番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	類型	因果関係がありそう				4QSを用いないで説明板説・作業板説を改良	観察 板説なし
				4QSを用いて作業板説を設定					
				STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4		
56	粒子	物質を水にとかしたときに電流が流れるか	A					○	
57	粒子	塩化銅水溶液の電気分解	A					○	
58	粒子	電解質の水溶液と金属板で電流が取り出せるか調べよう	F					○	
59	粒子	酸性、アルカリ性の水溶液の性質	A					○	
60	粒子	イオンの移動	A					○	
61	粒子	酸とアルカリの水溶液を混ぜ合わせる	C					○	
62	生命	細胞分裂のようす	D						○
63	生命	花粉管のびるようす	D						○
64	生命	遺伝子の組み合わせ	D						○
66	エネルギー	台車のいろいろな運動の記録	F					○	
68	エネルギー	斜面を下る台車の運動	E	台車にはたらく力	斜面の傾き	斜面の傾きを変える	ばねばかりと記録タイマーで測定する		
67	エネルギー	向きが異なる2つの力の合力	F					○	
69	エネルギー	物体のもつエネルギーの変化	F	物体のもつエネルギーの大きさ	物体の質量・速さ	物体の質量・速さを変える	熱いた物体の数・機見速度計で測定する		
69	エネルギー	小球のもつエネルギーと木片に衝突したときにする仕事	E	力学的エネルギーの大きさ	小球の高さ・質量 斜面の傾き	小球の高さ・質量・斜面の傾きを変える	木片の移動距離を測定する		
70	エネルギー	宙車やてこを使ったときの仕事の大きさ	F					○	
71	地球	太陽の表面のようす	B						○
72	地球	太陽の1日の動き	C						○
72	地球	星の1日の動き	C						○
74	地球	地球の公転と見える星座の関係	D						○
75	地球	季節による昼と夜の長さの変化	C						○
76	地球	月の形と位置	C						○
77	エネルギー	エネルギーの移り変わり	F					○	
78	生命	身近な自然環境の調査	D						○
79	生命	身近な自然の恵みと自然災害	D						○
80	生命	自然環境の保全と科学技術の利便	D						○

注) 番号, 観察・実験等のタイトル, 類型は表2-2に対応する。概念の柱は, 「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」を柱とした内容の構成に基づいて分類した。表中の「○」は, 図2-1に即した検討の結果を示す。さらに, 4QSの適用が可能であると判断した実験については, その適用の仕方を具体的に示す。

4. 本章のまとめ

本章では、長谷川らの観察・実験等の類型に基づいて、小・中学校の理科教科書（X社）に掲載されている全ての観察・実験等について、因果関係の有無の観点から検討を行い、4QSの適用が可能かどうかを明確にするとともに、適用の仕方を具体的に示すことを目的とした。

その結果、長谷川らの観察・実験等の類型は、4QSへの適用という観点から見ると、いずれの校種においても「4QSを用いて作業仮説を設定」、「4QSを用いないで説明仮説・作業仮説を設定」、「仮説なし」という3つのカテゴリーに集約することができた。そして、4QSの適用は、第5学年以降における条件の制御を伴う実験において、最も効果が期待できることが明確になった。また、因果関係を有する事象であっても、条件の制御を伴わない実験や、因果関係を想定していない事物の観察においては、4QSの適用は適切でないことも明確になった。

本章で得られた知見は、問題解決の能力や科学的な探究の能力を育成する理科授業を構想する際の基礎資料となることが期待される。

以上のことから、本章では、自然事象から同定した変数を因果関係として認識させ、仮説を文章で表現させる指導方略である4QSの適用の可能性について検討することができた。次章では、4QSの適用が可能であると判断された実験において、授業実践及び質問紙調査を試み、認知的側面（現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解）に与える効果を検証する。

注

ここでは、本研究で分析の対象としたX社の小・中学校の理科教科書には、観察・実験の他に調査や実習も含まれるため、観察・実験等と表記した。

引用文献

- 1) 文部省 (1999) 「小学校学習指導要領」.
- 2) 文部科学省 (2008) 「小学校学習指導要領」.
- 3) Commission on Science Education of American Association for the Advancement of Science (1963). Science-A Process Approach commentary for teachers, AAAS/XEROX Corporation, pp.122-131.
- 4) 国立教育政策研究所 (2013) 「社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則」『平成24年度プロジェクト研究調査研究報告書 教育課程の編成に関する基礎的研究報告書5』 pp.26-30.
(<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/Houkokusho-5.pdf>)

【最終アクセス：2014年12月24日】
- 5) 後藤顕一 (2014) 「理科における問題解決の資質・能力, 科学的な探究の能力とは何か」『理科の教育』63(11), 東洋館出版社, pp.723-726.
- 6) 吉山泰樹・小林辰至 (2011) 「プロセス・スキルズの観点からみた観察・実験等の類型化ー中学校理科教

科書に掲載されている観察・実験等について－』『理科教育学研究』第52巻，第1号，pp.107-119.

- 7) 吉山泰樹・小松武史・稲田結美・小林辰至(2012)「プロセス・スキルズの観点からみた観察・実験等の類型化(2)－小学校理科教科書に掲載されている観察・実験等について－』『理科教育学研究』第52巻，第3号，pp.179-190.
- 8) 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至(2013)「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等の類型化とその探究的特徴－プロセス・スキルズを精選・統合して開発した『探究の技能』に基づいて－』『理科教育学研究』第54巻，第2号，pp.225-247.
- 9) 国立教育政策研究所(2012)「平成24年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書」pp.18-19.
(http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/03shou_houkokusho.htm)
【最終アクセス：2014年12月19日】
- 10) 国立教育政策研究所(2012)「平成24年度全国学力・学習状況調査【中学校】報告書」pp.18-21.
(http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/04chuu_houkokusho.htm)
【最終アクセス：2014年12月19日】
- 11) R. Martin, S. Colleen & J. Gerlovich(2005). Teaching Science for All Children 3rd ed, Pearson/ Allyn & Bacon, pp.16-21.

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

- 12) Cothron, J. H., Giese, R. N., & Rezba, R. J. (2000). Science Experiments and Projects for Students, Kendall/Hunt Publishing Company, pp. 21-35.
- 13) 小林辰至・永益泰彦 (2006) 「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望－小学校教員指導学生の子ども頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価－」『科学教育研究』第30巻, 第3号, pp. 185-193.
- 14) 山田貴之・寺田光宏・長谷川敦司・稲田結美・小林辰至 (2014) 「児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果－第6学年『ものの燃え方と空気』を事例として－」『理科教育学研究』第55巻, 第2号, pp. 219-229.
- 15) 金子健治・小林辰至 (2010) 「The Four Question Strategy (4QS) を用いた仮説設定の指導が素朴概念の転換に与える効果－質量の異なる台車の斜面上の運動の実験を例として－」『理科教育学研究』第50巻, 第3号, pp. 67-76.
- 16) 金子健治・小林辰至 (2011) 「The Four Question Strategy (4QS) に基づいた仮説設定の指導がグラフ作成能力の習得に与える効果に関する研究」『理科教育学研究』第51巻, 第3号, pp. 75-83.
- 17) 前掲書 8)
- 18) 前掲書 9)
- 19) 前掲書 10)
- 20) 文部科学省 (2008) 「小学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, p. 23.

第2章 小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における4QSの適用の可能性

21) 同書, p. 22.

参考文献

- ・文部科学省(2008)「中学校学習指導要領解説理科編」
大日本図書.

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

－第6学年「燃焼の仕組み」を事例として－

1. 問題の所在と目的

第2章では、研究課題2として、小・中学校の理科教科書(X社)に掲載されている全ての観察・実験等について、因果関係の有無の観点から検討を行い、4QSの適用は、第5学年以降における条件の制御を伴う実験において、最も効果が期待できることを明らかにした。

本章は、研究課題3に位置付くものであり、第6学年「燃焼の仕組み」を題材として、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解に与える効果を検証することとした。

中山・大場・猿田¹⁾は、TIMSS1995理科問題の燃焼に関する論述形式課題に対する日本の中学生の回答には、燃焼を酸素や二酸化炭素の「ある」または「なし」で説明する傾向があることを報告している。一方、物質と酸素との結び付きが燃焼の本質であることを根拠にして、物質と酸素を引き離すことによって燃焼が止まることを指摘する回答は、それほど多くなかったとしている。そして、このような回答の傾向から、燃焼の仕組みに関する理論的知識に基づいて、現象を因果的に説明し予測することが科学にお

いて重要であると指摘している。また、五島²⁾は、2006年に実施されたOECDのPISA調査で評価分野の1つとなっている科学的リテラシーの3つの科学的能力のうち、日本は「科学的証拠を用いること」に関する能力は高いが、「科学的な疑問を認識すること」や「現象を科学的に説明すること」は、低い傾向にあることを報告している。こうした問題の解決に向けて、小倉³⁾は「科学的リテラシー育成のためには、児童・生徒が自らの考えで観察・実験を計画したり、その結果を評価して計画を改善したりといった、主体的な探究や創造的な問題解決に取り組むことが必要である」と述べている。

これまで、第6学年の燃焼の授業を改善する研究はいくつか報告されている^{4) 5) 6) 7)}が、これらの多くは燃焼の仕組みを如何に捉えさせるかという視点で授業実践した研究である。

一方、児童自らが科学的に検証可能な「問題」を立て、それに対する「答え」を導き出したり、燃焼の仕組みを物質と酸素との結合であると因果的に説明したりするといった視点で、燃焼現象を科学的に説明する能力の育成を目的として、主体的な問題解決の活動を促す指導方法の有効性を検証した研究は見あたらない。

そこで本章では、4QSを用いることが、燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解と、燃焼現象を科学的に説明する能力の育成に有効ではないかと考えた。4QSを用いることで、児童自らが従属変数（結果）と独立変数（原因）を同定するとともに、これら2変数の因果関係を仮説として自分の言葉で文章化することができる。これまで4QSを用

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

いた研究はいくつか報告されている^{8) 9) 10)}が、燃焼現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果についての実証的な研究は存在しなかった。

以上のことを踏まえ、本章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、燃焼現象を科学的に説明する能力、及び燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。

2. 研究の方法

2-1. 調査の対象

岐阜県内の公立小学校第6学年2学級計74人（実験群37人，統制群37人）に対して授業及び質問紙調査を実施した。両群の授業実施条件は，4QSの有無以外すべて統一した。

2-2. 本単元実施前のオリエンテーションの概要

本単元実施前に，両群の児童に対して2時間のオリエンテーションを実施した。第1時では，事前調査を行った後，自作のプリントを児童に配布した（資料1）。このプリントの表面には，第6学年の1年間で学習する理科単元の実施計画やノートの記述例，実験の事故例と防止対策が印刷されている。裏面には，「このことから，○○は◇◇だと考えられる。」，「実験の結果，仮説と同じで（違って）～であった。」，「理由は，◆◆だからだ。」，「表やグラフから，～という規則性がわかる。」といった，考察の記述に関する定型文の例が6つ印刷されている。

そして，このプリントを児童のノートに貼付させるとともに，A0判に拡大したものを理科室に掲示した。教師はこのような定型文を児童に与えることで，児童が自らの論理を構築するうえで大切な「順序性」や「因果性」を意識できるよう継続的に指導した。

第2時では，まず5年生で学習した「電磁石の働きを強くするには，どうすればよいだろうか。」という課題を提示した。次に「コイルの巻き数，エナメル線の太さ，

鉄心の太さや種類，乾電池の数」といった変数を黒板に書いて紹介した。ここで，実験群の児童には，4QSを用いて仮説の文章化に導く指導を行った。統制群の児童には，仮説について学級全体で話し合わせ，それを教師が整理して黒板に書いた文章をノートに記述させた。その後，両群ともに4人一組のグループで実験を行ったが，既習内容であることから実験結果の意見交流の場は設けずにオープンエンドとした。

2-3. 本単元の授業実践の概要

表3-1に示したように，本単元は全9時間で構成されている。第1～2時では，物が燃え続けるには絶えず空気が入れ替わる必要があることを調べさせた。第2時の授業終末において，アルコールランプの蓋をかぶせると火が消える理由を話し合わせ，「蓋で空気を遮ることによって火を消す」という結論を導出させた。第3時では，3本の集気びんに，それぞれ窒素，酸素，二酸化炭素を入れて，ろうそくが燃えるか否かを調べさせた。第4時では，ろうそくの燃焼後の空気の質的な変化を石灰水で調べさせた。第5～6時では，ろうそくが燃えると空気中の酸素の一部が使われて（21%→17%），二酸化炭素ができる（0.03%→3%）ことを検証させた。第6時において，燃焼前後の空気の組成を帯グラフに整理させたり，空気の質的な変化を気体の粒の数（窒素 20→20，酸素 4→3，二酸化炭素 1→2）に着目してイメージ図で表現させたりした。第7～8時では，物が燃えるか否かについて，空気中の酸素の体積の割合と関係付けて考察させ

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

た。第9時では、単元のまとめとして、習得した科学的な知識を活用することが可能な実験を設定し、燃焼現象を科学的に説明させた。

表3-1 本単元の指導計画（全9時）

単元の進行	時	主な学習内容	教師が黒板に書いた授業のまとめ（原文そのまま）
＜第1次：3時間＞ 物が燃え続けるのは どんなときだろうか	1～2	・集気びんの上や下を開けて、ろうそくが燃え続ける条件を調べる。 ・集気びんの上や下に線香の煙を近づけ、その動きを調べる。	・物が燃え続けるには、絶えず空気が入れ替わる必要がある。
	3	・3本の集気びんに、それぞれ酸素、酸素、二酸化炭素を入れて、ろうそくの燃え方の違いを調べる。	・物が燃え続けるには空気が必要であり、空気中の酸素には、物を燃やす働きがある。 ・ちっ素や二酸化炭素には物を燃やす働きがない。
＜第2次：3時間＞ 物が燃えると空気は どうなるだろうか	4	・ろうそくの燃焼後の空気の質的な変化を石灰水で調べる。	・物が燃えた後の空気には、ろうそくが燃える前の空気よりも二酸化炭素が多くふくまれている。
	5～6	・ろうそくの燃焼前後の空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合の変化を気体検知管で調べ、その数値を表に整理する。 ・燃焼前後の空気中の気体の体積の割合を帯グラフに整理したり、それぞれの気体を粒で表し、空気の質的な変化を粒の数に着目してイメージ図で表現したりする。	・物が燃えると、空気中の酸素の一部が使われて二酸化炭素ができる。 ・空気中の酸素の体積の割合が約21%から約17%まで小さくなり、二酸化炭素の体積の割合が約0.03%から約3%まで大きくなる。
＜第3次：3時間＞ 物が燃えるときの空 気の働きについてま とめよう	7～8	・3つの混合気体（酸素20%二酸化炭素80%、酸素50%二酸化炭素50%、酸素80%二酸化炭素20%）を提示し、その中で物が燃えるか否かについて酸素の体積の割合と関係付けて調べる。	・酸素20%、二酸化炭素80%の空気であっても、酸素が17%以上あるため物を燃やすことができる。このことから、消火に影響を及ぼす要因は酸素だとわかる。
	9	・単元のまとめとして、水を入れた紙コップをアルコールランプで下から熱する「水入り紙コップ」の実験、加熱した水蒸気をマッチに当てる「加熱水蒸気」の実験、点火した火花を水中に入れる「水中火花」の実験を行う。 ・燃焼の3要素に基づいて燃焼現象を科学的に説明する。	・燃焼の3要素（燃える物・酸素・十分な温度）のうち、どれか1つでも取り除くと物は燃えない。

2-4. 授業及び質問紙調査の実施時期

授業については、2013年4月中旬から5月中旬にかけて実施した。図3-1に示したように、第1～2時、第4時、第5～6時、第7～8時において、実験群では4QSを用いて児童自らが変数の同定と仮説の設定を行った。そして、グループで互いの仮説について検証可能であるのか否かについて検討を加えた後に実験を行った。

図3-2に、第7～8時における4QSの記述例を示す。また、表3-2には、実験群の児童が4QSに記述した「Step1（従属変数の抽出）、Step2（独立変数の抽出）、Step3（独立変数の変化）、Step4（従属変数の数量化）、Step5（仮説の文章化）」の一例を示す。4QSの記述内容については、本単元実施前に共同研究者によって検討がなされており、児童の思考の自由度を保障しつつ、検証可能な「問題」にするための適切な指導助言が想定されている。

一方、統制群では教師が実験の目的や変数を説明した後、仮説についてグループや学級で話し合わせ、それを教師が整理しながら、表3-2の「Step5」（仮説の文章化）に示す実験群の仮説と同じ文章を黒板に書いた。そして、その仮説を児童のノートに記述させた後に実験を行わせた。

従って、両群の差異は、児童自らが同定した変数に基づいて仮説を文章化したか、教師の教授によって仮説を設定したかのみである。

質問紙調査については、4月上旬（学習前の事前調査）、5月中旬（単元終了後の事後調査）、6月中旬（単元終了約1ヶ月後の遅延調査）に同一の質問紙を用いて行った。

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

	実験群	統制群
単元実施前	事前調査及びオリエンテーションの実施	
第1～2時	集気びんの中でろうそくを燃やし続けるには、どうすればよいだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第3時	物を燃やす働きのある気体はどれだろうか	
	教科書に即した授業の実施	教科書に即した授業の実施
第4時	物が燃えると、空気の性質はどのように変化するのだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第5～6時	物が燃えると、空気中の気体の体積の割合はどのように変化するのだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第7～8時	空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合を変えると、物が燃える時間はどのように変化するのだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第9時	本単元で習得した科学的知識を適用することの可能な実験の実施	
単元終了後	事後調査の実施	
約1ヶ月後	遅延調査の実施	

図 3 - 1 授業及び質問紙調査の実施時期

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

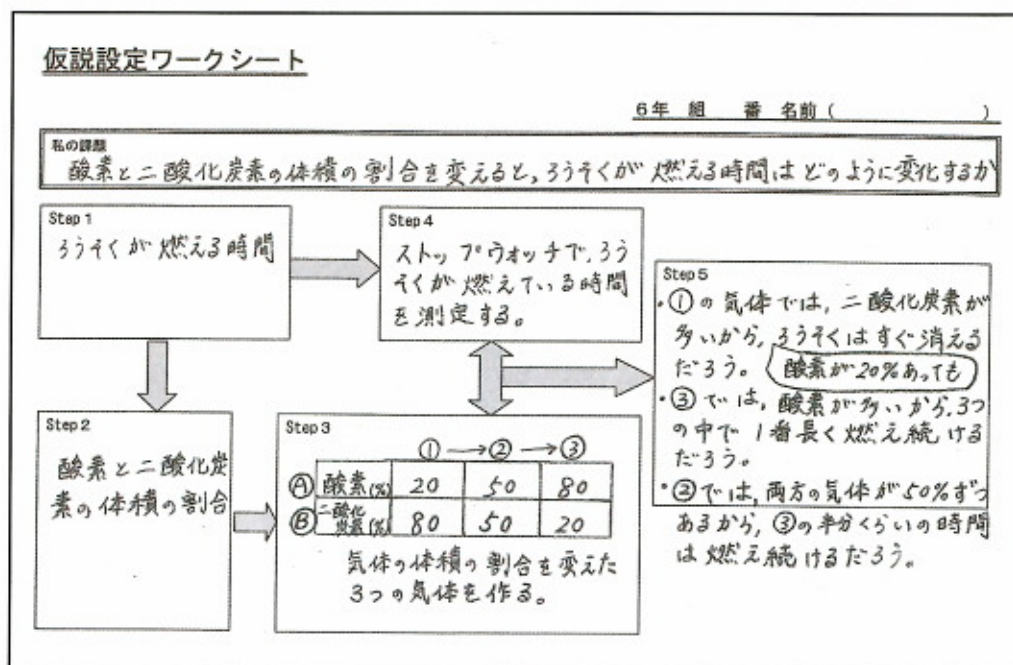


図 3 - 2 実験群の児童による 4QS の記述例

表 3 - 2 実験群の児童による 4QS の記述内容の一例

時	Step 1 (従属変数の抽出)	Step 2 (独立変数の抽出)	Step 3 (独立変数の変化)	Step 4 (従属変数の数値化)	Step 5 (Step 3, 4 を関連付けた仮説の文章化)
1~2	・ろうそくを燃やし続ける方法	・空気を送り続ける ・空気の通り道を作る	・集気びんの上を開ける ・下を開ける ・上と下の両方を開ける	・ろうそくが燃えている時間を計る	・集気びんの上と下を開けて空気の通り道を作れば、ろうそくを燃やし続けることができるだろう
4	・ろうそくが燃えた後の空気の性質	・集気びんの中でろうそくを燃やす	・ろうそくが消えるまで燃やし続ける ・燃える前と後を比べる	・石灰水が白くにごるかどうかを調べる	・集気びんの中でろうそくを燃やすと、二酸化炭素が増えて石灰水は白くにごるだろう
5~6	・空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合	・集気びんの中でろうそくを燃やす	・ろうそくが消えるまで燃やし続ける ・燃える前と後を比べる	・気体検知管で酸素と二酸化炭素の体積の割合を調べる	・集気びんの中でろうそくを燃やすと、燃える前よりも酸素の割合は小さくなり、二酸化炭素の割合は大きくなるだろう
7~8	・ろうそくが燃えている時間	・空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合	・気体の体積の割合 (酸素20% : 二酸化炭素80%) (酸素50% : 二酸化炭素50%) (酸素80% : 二酸化炭素20%)	・ろうそくが燃えている時間を計る	・酸素20%、二酸化炭素80%の気体では、二酸化炭素が多くふくまれているから、ろうそくはすぐに消えるだろう

2 - 5 . 分析の方法

2 - 5 - 1 . 科学的な知識の理解度の分析方法

調査に用いた質問紙(図3-3)は、TIMSS2003の酸化・燃焼に関する課題¹¹⁾を参考に、以下の3問とした。「設問1：ろうそくの消える様子」は、表3-1に示した第1～2時(物の燃焼と空気の関係性)で、「設問2：燃焼による空気の質的な変化」は、第4～6時(燃焼前後の空気の組成の変化)で習得する科学的な知識に基づいた設問である。「設問3：二酸化炭素と消火器」は、第3時(酸素の助燃性)と、第7～8時(物の燃焼に不可欠な物質としての酸素の存在)で習得する科学的な知識の活用により回答可能な設問である。なお、設問1は選択肢形式課題に、その選択理由の自由記述を付加したものであり、選択肢とその理由の両方の正答を正答者とした。


また、実験結果(科学的根拠)や科学的な知識に基づいた回答であるか否かについて、表3-3に示す評価基準に従って質問紙の自由記述を分類した。なお、誤答者はC基準、無回答者はD基準として分類した。

「ものの燃え方と空気」事前調査問題


1. 図1は、同じろうそくが4本燃えている様子を描いたものです。ろうそくは、それぞれ大きさの違うガラスの容器でおおわれています。どのろうそくが一番最後に消えるでしょうか。①～④の中から一つ選びましょう。また、その理由も書きましょう。

図1


①




②



③



④



2. 「ろうそくが燃える前」と「ろうそくが燃えた後」のガラスの容器の中の空気を比べると、どのような違いがあるのでしょうか。

3. 二酸化炭素は、ある種類の消火器に使われている気体です。二酸化炭素は、どのようにして火を消すのか説明しましょう。

図3-3 調査に用いた質問紙

出典：文部科学省（2005）「小学校理科・中学校理科・高等学校理科指導資料－PISA2003（科学的リテラシー）及びTIMSS2003（理科）結果の分析と指導改善の方向－」p. 67. より一部抜粋。

表3-3 正答者の自由記述の評価基準

設問1	A	「物が燃えるためには空気が必要で、空気の成分のうち、酸素には物を燃やす働きがあり、容器が大きいほど空気が多く入っているから長く燃え続ける」といった、燃焼現象を酸素との因果関係に基づいて説明した記述
	B	「物が燃えるためには空気が必要であり、容器が大きいほど空気が多く入っているから長く燃え続ける」といった、物の燃焼と空気の関係性に着目した記述
	B'	「容器が大きいほど空気（酸素）が多く入っているから長く燃え続ける」といった、ガラス容器の体積に着目した記述
設問2	A	燃焼前後の空気の質的な変化を気体の粒の数（窒素20→20、酸素4→3、二酸化炭素1→2）で表したイメージ図による記述
	B	「空気中の酸素が約21%から17%まで減り、二酸化炭素が約0.03%から3%まで増える」といった定量的な記述
	B'	「空気中の酸素の一部が使われて二酸化炭素ができる」といった定性的な記述
設問3	A	「二酸化炭素が物を燃やす働きのある空気中の酸素を押し除けることで火を消す」といった、消火現象を酸素との因果関係に基づいて説明した記述
	B	「二酸化炭素が空気（酸素）を押し除ける」、「二酸化炭素が燃えている物を覆う」といった、窒息作用に着目した記述
	B'	「二酸化炭素には物を燃やす働きがないから」、「二酸化炭素が火を冷やすから」といった、消火作用へ結びつけ可能な二酸化炭素の働きに着目した記述

2-5-2. 科学的な知識の維持の分析方法

まず設問ごとの正答に1点を付与し、計3点満点で事前、事後、遅延調査の各質問紙における両群の得点の平均値を算出した。

次に両群の平均値について、群間(2水準)×調査時(3水準)の2要因分散分析を行った。

2-5-3. 科学的に説明する能力の分析方法

PISAでは、科学的な知識をただ有していることを求めてはいない¹²⁾。清水・渡邊・安田¹³⁾は、理解が深まった状態を「事物や事象についての解釈がより首尾一貫したものになり、より広い範囲に適用できる包括的なものになること」としている。

そこで本章では、清水・渡邊・安田¹⁴⁾の知見を踏まえ、科学的な知識の理解度に加え、物の燃焼や消火に関する現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明することができるか否かについて、質問紙の自由記述を分析することとした。そして、表3-3に示したA基準で記述することができた児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童」、それ以外のB、B'、C、D基準の児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できなかった児童」として分類し、その人数を集計した。

なお、「設問2：燃焼による空気の質的な変化」については、設問の内容上、因果関係の説明は困難であると判断し、本分析から除外した。

3. 結果と考察

調査の対象とした実験群 37 人，統制群 37 人の全員の回答を得た。本章の指導方法の有効性を検証するために，まず各質問紙の得点をそれぞれ求め，量的分析を行った。次に児童一人一人の理解状態を詳細に把握するために，個々の自由記述に質的分析を加えた。

3-1. 科学的な知識の理解度の変容

表 3-4 は，事前，事後調査における児童の自由記述を，評価基準（表 3-3）に従って設問ごとに分類した人数を示したものである。また表 3-5 は，表 3-3 に示した A，B，B' 基準の正答者と，それ以外の C，D 基準の非正答者とに分類し，直接確率計算 2×2 （両側検定）で有意差の有無を検証したものである。

3-1-1. 設問 1 に関する科学的な知識の理解度

事前調査の正答者数は，実験群 17 人（45.9%），統制群 22 人（59.5%）で有意な差はなかった（表 3-5）。誤答の原因を探るために，表 3-4 に示した C 基準の児童の自由記述に着目したところ，実験群 12 人中 8 人（66.7%），統制群 9 人中 7 人（77.8%）の誤答者には「容器が小さいほど，容器内の空気が熱くなりやすいからろうそくが早くとける」といった記述がみられた。このことから，誤答者の約 70% は「ろうそくの消耗による消火」という誤った知識を保持しており，「設問 1：ろうそくの消える様子」の回答の根拠となる「物の燃焼と空気の関

係性」については認識していないことが示された。残りの実験群4人中3人、統制群2人中1人の誤答者には「容器が大きい方がろうそくの横や縦に隙間がある」といった、空気の存在を示唆する記述がみられたが、B'基準の正答とするには不十分であると判断した。解読不能者が両群ともに1人ずつ、無回答者が実験群8人(21.6%)、統制群6人(16.2%)であった。

事後調査の正答者数は、実験群34人(91.9%)、統制群26人(70.3%)で有意な差があった(表3-5)。このことから、表3-1に示した第1~2時で習得した「物の燃焼と空気の関係性」に関する科学的な知識に基づいて回答できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

一方、表3-4に示した実験群3人中2人と統制群7人中6人の誤答者は、いずれも事前調査の正答者であったが、事後調査では「容器が大きいと空気がグルグル回る」という、第4学年で学習した空気の対流に関する既有知識に基づいた記述がみられた。また、残りの両群1人ずつの誤答者には、事前調査から継続して「容器が小さいほど、容器内の空気が熱くなりやすいからろうそくが早くとける」といった記述がみられ、「物の燃焼と空気の関係性」に関する科学的な知識の理解が不十分であることが示された。

事前~事後調査において、実験群では正答者数が有意に増加したが、統制群は有意でなかった(表3-5)。さらに、実験群では事前調査の正答者17人中15人(88.2%)、非正答者20人中19人(95.0%)が事後調査の正答者で

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

あったのに対し、統制群では事前調査の正答者 22 人中 16 人 (72.7%)、非正答者 15 人中 10 人 (66.7%) が事後調査の正答者であった。

表 3 - 4 設問ごとに分類した人数

			A	B	B'	C	D
設問 1	実験群 (N=37)	事前	9 (24.3)	2 (5.4)	6 (16.2)	12 (32.4)	8 (21.6)
		事後	33 (89.2)	1 (2.7)	0 (0.0)	3 (8.1)	0 (0.0)
	統制群 (N=37)	事前	5 (13.5)	2 (5.4)	15 (40.5)	9 (24.3)	6 (16.2)
		事後	6 (16.2)	16 (43.2)	4 (10.8)	7 (18.9)	4 (10.8)
設問 2	実験群 (N=37)	事前	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (2.7)	32 (86.5)	4 (10.8)
		事後	5 (13.5)	19 (51.4)	2 (5.4)	11 (29.7)	0 (0.0)
	統制群 (N=37)	事前	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	30 (81.1)	7 (18.9)
		事後	1 (2.7)	5 (13.5)	6 (16.2)	25 (67.6)	0 (0.0)
設問 3	実験群 (N=37)	事前	1 (2.7)	3 (8.1)	1 (2.7)	27 (73.0)	5 (13.5)
		事後	27 (73.0)	6 (16.2)	0 (0.0)	4 (10.8)	0 (0.0)
	統制群 (N=37)	事前	1 (2.7)	5 (13.5)	2 (5.4)	22 (59.6)	7 (18.9)
		事後	3 (8.1)	14 (37.8)	0 (0.0)	13 (35.1)	7 (18.9)

注) 単位は人, () 内の数字は%を示す。

表 3 - 5 設問ごとの正答者数

		事前調査	事後調査	調査時の有意差
設問 1	実験群 (N=37)	17 (45.9)	34 (91.9)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	22 (59.5)	26 (70.3)	$p=0.3443 \text{ n. s.}$
	群間の有意差	$p=0.3518 \text{ n. s.}$	$p=0.0352^*$	—
設問 2	実験群 (N=37)	1 (2.7)	26 (70.3)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	0 (0.0)	12 (32.4)	$p=0.0002^{**}$
	群間の有意差	$p=1.0000 \text{ n. s.}$	$p=0.0023^{**}$	—
設問 3	実験群 (N=37)	5 (13.5)	33 (89.2)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	8 (21.6)	17 (45.9)	$p=0.0482^*$
	群間の有意差	$p=0.5426 \text{ n. s.}$	$p=0.0001^{**}$	—

$^{**} p < .01$, $^* p < .05$

注) 単位は人, () 内の数字は % を示す。

3 - 1 - 2 . 設問 2 に関する科学的な知識の理解度

事前調査の正答者数は, 実験群 1 人 (2.7%), 統制群 0 人であった (表 3 - 5)。誤答の原因を探るために, 表 4 に示す C 基準の児童の自由記述に着目したところ, 「燃えた後の空気は二酸化炭素が増える」と回答した児童が実験群 4 人 (10.8%), 統制群 1 人 (2.7%), 「燃えた後の空気は酸素が少しだけ減る」と回答した児童が実験群 1 人 (2.7%) であった。また, 「空気がすべて二酸化炭素になる」, 「空気中の酸素がすべて二酸化炭素になる」という誤った知識を保持している児童が実験群 21 人 (56.8%), 統制群 25 人 (67.6%) であった。さらに, 「燃える前の空気はきれいだけど, 燃えた後の空気は汚い」

という誤った知識を保持している児童が実験群 6 人 (16.2%)、統制群 4 人 (10.8%) であった。無回答者は実験群 4 人 (10.8%)、統制群 7 人 (18.9%) であった。

事後調査の正答者数は、実験群 26 人 (70.3%)、統制群 12 人 (32.4%) で有意な差があった (表 3-5)。このことから、表 3-1 に示した第 4～6 時で習得した「燃焼前後の空気の組成の変化」に関する科学的な知識に基づいて回答できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

そこで、両群の正答者の自由記述に着目したところ、図 3-4 に示したように、燃焼前後の空気の組成を比較し、その状態を気体の粒 (窒素 20→20、酸素 4→3、二酸化炭素 1→2) を用いて正しく表現できた A 基準の児童は、実験群 5 人 (13.5%)、統制群 1 人 (2.7%) であった。なお、空気の組成の状態をイメージ図で表現していても、気体の粒に過不足が認められる回答については、B' 基準の定性的な理解として分類した。

また、図 3-5 に示したように、気体検知管で定量的に測定した実験結果 (科学的証拠) に基づいて正しく記述できた B 基準の児童は、実験群 19 人 (51.4%)、統制群 5 人 (13.5%) であった。図 3-4、3-5 に示した A、B 基準の記述ができた児童を合わせると、実験群の正答者 26 人中 24 人 (92.3%)、統制群の正答者 12 人中 6 人 (50.0%) であった。このことから、実験群では、「燃焼による空気の質的な変化」を定量的に理解している児童が、統制群の約 2 倍であることがわかった。

一方、表 3-4 に示した実験群 11 人中 8 人、統制群 25

人中 14 人の誤答者には「燃えた後は酸素が減る」または「二酸化炭素が増える」といった、酸素か二酸化炭素のいずれかの変化に関する記述のみがみられた。また、残りの実験群 3 人、統制群 11 人中 4 人には「燃えた後の空気は汚い」といった記述が事前調査から継続してみられた。さらに、統制群の残り 7 人には「燃えた後は酸素が少なくなり、汚い空気になる」といった記述がみられ、「燃焼前後の空気の組成の変化」に関する科学的な知識の理解が不十分であることが示された。

事前～事後調査において、両群ともに正答者数は有意に増加した（表 3 - 5）。しかし、実験群では事前調査の非正答者 36 人中 25 人（69.4%）が事後調査の正答者であったのに対し、統制群では 37 人中 12 人（32.4%）に留まり、実験群の正答率は統制群の約 2 倍であることがわかった。

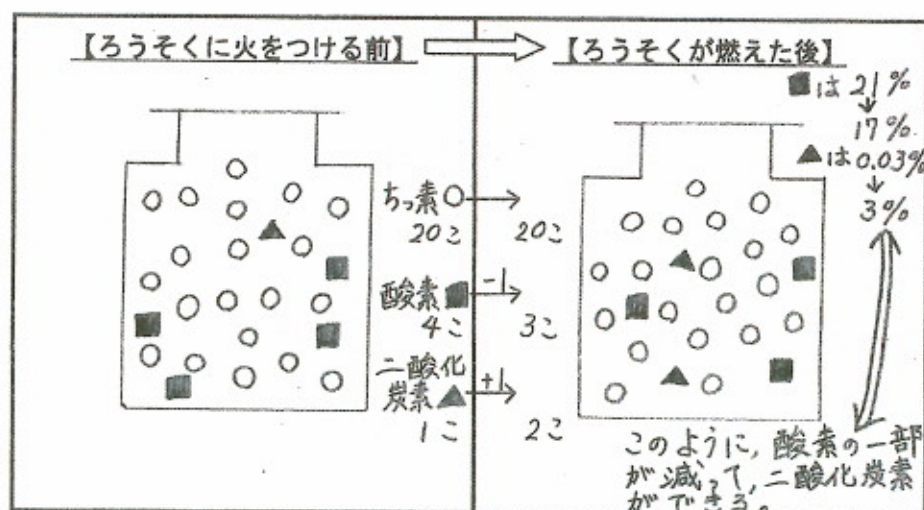


図 3 - 4 設問 2 に関する実験群の児童の A 基準の記述

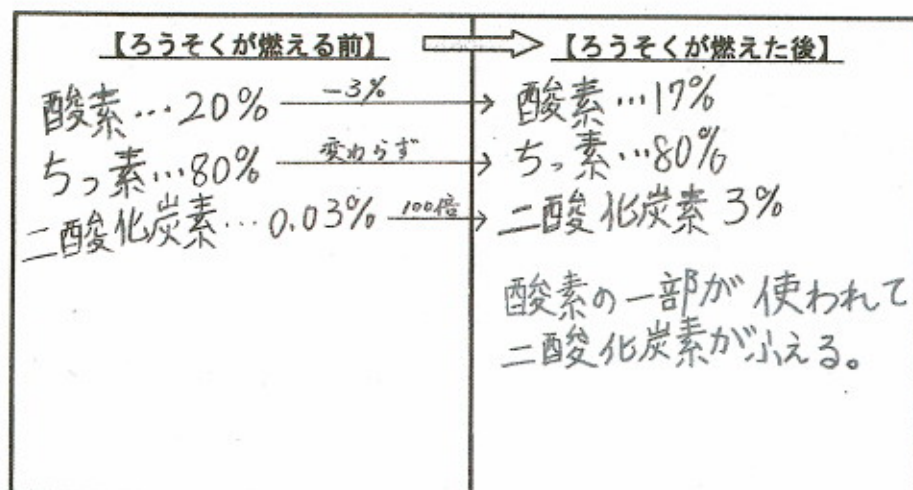


図 3 - 5 設問 2 に関する実験群の児童の B 基準の記述

3 - 1 - 3 . 設問 3 に関する科学的な知識の理解度

事前調査の正答者数は、実験群 5 人 (13.5%)、統制群 8 人 (21.6%) で有意な差はなかった (表 3 - 4)。誤答の原因を探るために、C 基準の児童の自由記述に着目したところ、二酸化炭素を「煙、水、泡、風」とする誤った知識に基づいて、例えば「消火器から出る二酸化炭素の煙で火を消す」といった記述が実験群 27 人中 19 人、統制群 22 人中 10 人の誤答者にみられた。また、残りの実験群 8 人、統制群 12 人の誤答者には「二酸化炭素には火を消す働きがある」という誤った知識に基づいた記述がみられた。無回答者は実験群 5 人 (13.5%)、統制群 7 人 (18.9%) であった。

事後調査の正答者数は、実験群 33 人 (89.2%)、統制群 17 人 (45.9%) で有意な差があった (表 3 - 5)。こ

のことから、表3-1に示した第3時、第7～8時で習得した「酸素の助燃性」、「物の燃焼に不可欠な物質としての酸素の存在」に関する科学的な知識に基づいて回答できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

そこで、両群の正答者の自由記述に着目したところ、図3-6に示したように、消火の仕組みについて「物の燃焼には酸素が不可欠」とする科学的な知識に基づいて記述できたA基準の児童は、実験群27人(73.0%)、統制群3人(8.1%)であった。

また、図3-7に示したように、窒息作用に着目して記述できたB基準の児童は、実験群6人(16.2%)、統制群14人(37.8%)であった。

一方、表3-4に示した実験群4人、統制群13人中12人の誤答者には「二酸化炭素には火を消す働きがある」という誤った知識に基づいた記述が事前調査から継続してみられ、「物の燃焼に不可欠な物質としての酸素の存在」に関する科学的な知識の理解が不十分であることが示された。

事前～事後調査において、両群ともに正答者数は有意に増加した(表3-4)。しかし、実験群では事前調査の非正答者32人中28人(87.5%)が事後調査の正答者であったのに対し、統制群では29人中9人(31.0%)に留まり、実験群の正答率は統制群の約3倍であることがわかった。

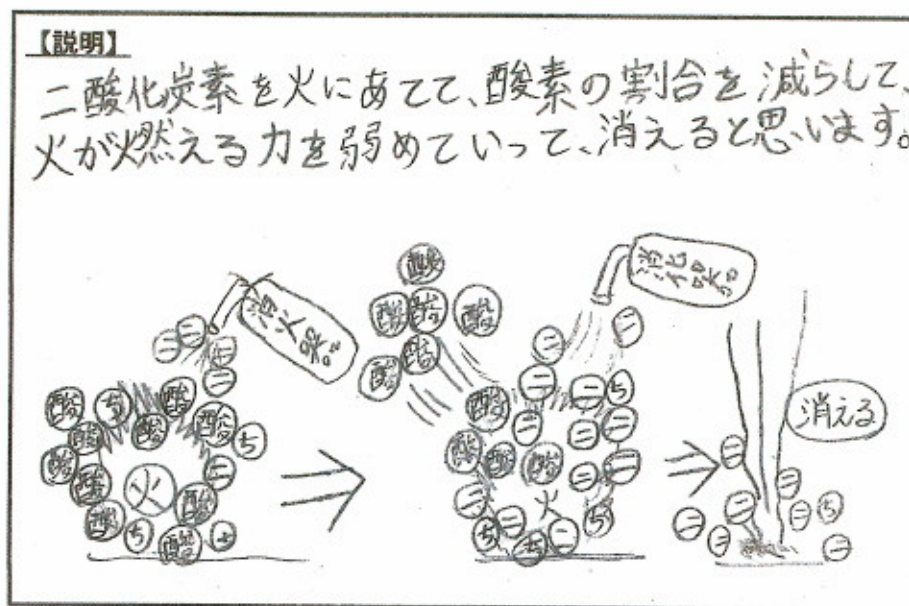


図3-6 設問3に関する実験群の児童のA基準の記述

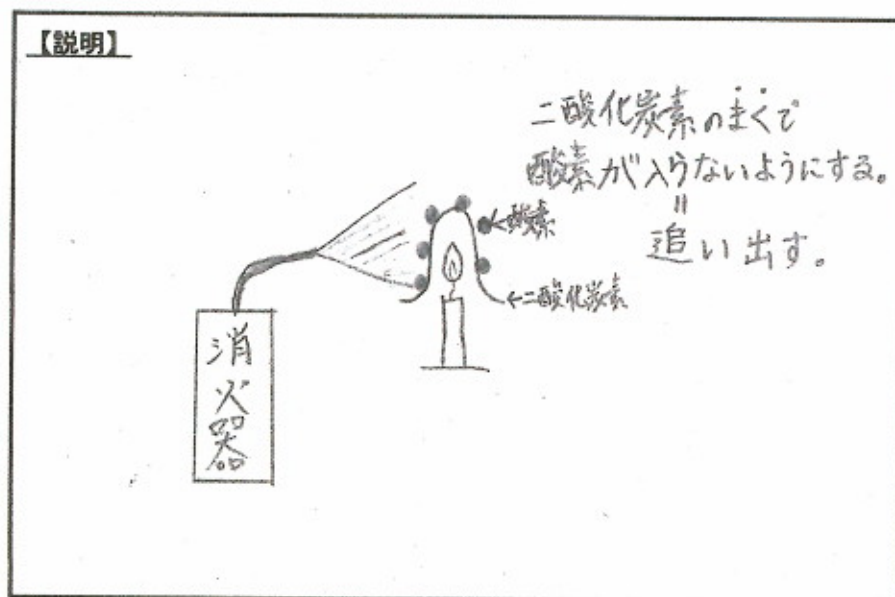


図3-7 設問3に関する実験群の児童のB基準の記述

3 - 2 . 科学的な知識の維持の比較

図3-8に、事前、事後、遅延調査の各質問紙における両群の得点の平均値の推移を示す。両群の得点の平均値について2要因分散分析を行った結果、交互作用が有意であった ($F(2, 144) = 30.16, p < .05$)。

さらに、LSD法を用いた多重比較の結果、事後(単元終了後)～遅延(約1ヶ月後)で、統制群では有意な低下が認められた ($MSe = .3795, p < .05$) が、実験群ではその低下は僅かであり有意でなかった。

このことから、実験群の児童は、単元終了約1ヶ月後においても燃焼の仕組みに関する科学的な知識を高い水準で維持していることが明らかとなった。

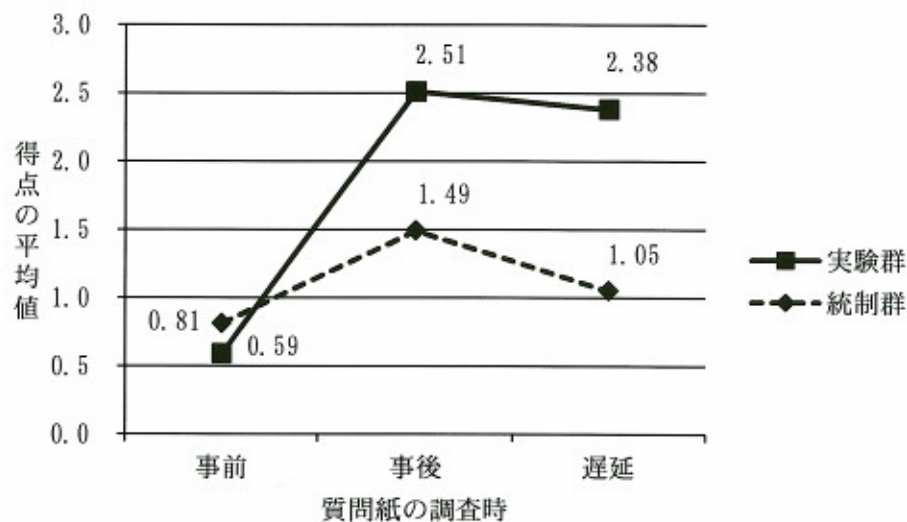


図3-8 得点の平均値の推移

3-3. 科学的に説明する能力の変容

表3-6は、表3-3に示したA基準で記述できた児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童」（以下、能力ありと表記）、それ以外のB、B'、C、D基準の児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できなかつた児童」（以下、能力なしと表記）として分類し、直接確率計算 2×2 （両側検定）で比較したものである。

3-3-1. 設問1に関する科学的に説明する能力

表3-6に示したように、事前調査の「能力あり」の人数は、実験群9人（24.3%）、統制群5人（13.5%）で有意な差はなかつた。事後調査の「能力あり」の人数は、実験群33人（89.2%）、統制群6人（16.2%）で有意な差があった。事前～事後調査における「能力あり」の人数は、実験群では有意に増加したが、統制群は有意でなかつた。

このことから、燃焼現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかつた。

3-3-2. 設問3に関する科学的に説明する能力

表3-6に示したように、事前調査の「能力あり」の人数は、両群ともに1人であつた。事後調査の「能力あり」の人数は、実験群27人（73.0%）、統制群3人（8.1%）で有意な差があった。事前～事後調査における「能力あり」の人数は、実験群では有意に増加したが、統制群は

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

有意でなかった。

このことから、消火現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

表 3 - 6 設問ごとの「能力あり」の人数

		事前調査	事後調査	調査時の有意差
設問 1	実験群 (N=37)	9 (24.3)	33 (89.2)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	5 (13.5)	6 (16.2)	$p=1.0000$ <i>n. s.</i>
	群間の有意差	$p=0.3739$ <i>n. s.</i>	$p=0.0000^{**}$	—
設問 3	実験群 (N=37)	1 (2.7)	27 (73.0)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	1 (2.7)	3 (8.1)	$p=0.6145$ <i>n. s.</i>
	群間の有意差	$p=1.0000$ <i>n. s.</i>	$p=0.0000^{**}$	—

4. 本章のまとめ

本章では、第6学年「燃焼の仕組み」において、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、燃焼現象を科学的に説明する能力、及び燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。

この目的を達成するために、第6学年「燃焼の仕組み」において、4QSを用いた実験群37人と、用いなかった統制群37人を対象とした授業実践及び学習前後の質問紙調査の分析を行った。

その結果、本章の指導方法が、燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解とその維持、及び燃焼現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できる能力の育成に有効であることが示された。

以下では、本章の指導方法と科学的な知識の理解度、及び科学的に説明する能力の育成との関連性について考察する。

本章では、児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導方法として4QSを用いた。4QSを用いることで、従属変数と独立変数との因果関係を客観的に捉え、自分の仮説を自分の言葉で文章化することができる。このように、仮説設定における児童一人一人の思考過程を可視化するとともに、その妥当性についてグループの仲間と検討する活動を行わせることで、現象を科学的に説明する能力の育成を促進することができたと考えられる。例えば、図3-2に示した実験群の児童が記述した4QSの

「Step 5」(仮説の文章化)において、グループで科学的な視点から検討された複数の仮説が記述されていることがわかる。児童は、4QSを用いて自分の仮説を設定することで、「どこに着目し、どのような手順で観察を進めていけばよいのか」、「自分が導き出した事実(実験結果)をどのように解釈すればよいのか」といった、理論的枠組みを保持することができたと考えられる。

遠西・岡島¹⁵⁾は、授業方略と概念獲得との関係について、授業方略として理論的枠組みを子どもに与える群と与えない群とでは、前者の方がよりよい概念を獲得したことを報告している。本章は、そのことを裏付ける結果になったといえる。

一方、統制群においても、表3-1, 3-2に示したように、教師が実験の目的や変数を説明した後、仮説についてグループや学級で話し合い、それを教師が整理して黒板に書くことで実験群と同じ仮説を設定したり、実験を行ったりした。これは、統制群の児童にも理論的枠組みを与えたことを意味する。そして、表3-5に示したように、統制群では「設問2: 燃焼による空気の質的な変化」及び「設問3: 二酸化炭素と消火器」に関する科学的な知識の理解度に有意な増加が認められた。

しかしながら、図3-8に示したように、統制群の質問紙調査の得点の平均値は、実験群のそれと比べて相対的に低く、本章の指導方法の有無による差がそこに現れていると推察される。従って、本章における有効な理論的枠組みとは、従属変数(結果)としての「物の燃焼」と、独立変数(原因)としての「酸素」の2変数を、児

童自らが同定するとともに科学的な説明に不可欠な因果関係として認識することにあつたと考えられる。

加えて、上述の遠西・岡島¹⁶⁾の研究では、観察前後にすべての理論を児童に提示し、その中から観察事実についての考えを選択させているのに対し、4QSを用いた変数の同定と仮説の設定は、児童自らが発案したものであるため、問題の発見から仮説の設定、その検証に至るまで一貫して自らの活動であるという認識をもつことができたと考えられる。こうした児童自らの主体的な問題解決の活動は、2008年告示の小学校学習指導要領解説理科編¹⁷⁾が掲げる理科の目標と一致している。

これまで述べてきたように、本章の指導方法は、従来に比べ、従属変数（結果）と独立変数（原因）の2変数の因果関係の認識を促し、児童の仮説設定や事実解釈の思考をより首尾一貫させるとともに、自然忘却を抑え、しかも適用範囲の広い科学的な知識の理解と、現象を科学的に説明する能力の育成に有効であることが明らかとなった。

さらに、本章の成果を考慮すると、以下の利点が示唆される。第1に、学習課題に対する因果関係についての見通しを持ち、それを基に自ら観察、実験を進めたり、結果を解釈する視点を明確にしたりする等、自立的な学習を支持する。第2に、グループの仲間から自分の仮説の矛盾点を指摘されたり、仲間が示した考えの中から納得できる部分を自らの仮説に取り入れたりする等、個人の独立性を維持しながら協同的に追究する学習を支持する。

課題としては、質的な変化の推論について、吉田¹⁸⁾は、「燃焼の仕組みのように目に見える現象であっても、その変化の原因と結果とを関係付けて捉えることは困難である」と述べている。本章において、実験群であっても科学的な知識の理解に至らなかつたり、現象を因果関係に基づいて科学的に説明する能力の定着が不十分であったりした児童が認められた。今後、こうした定性的な実験が抱える課題の克服に向けて、他の単元における学習効果を検討していくことが望まれる。また、児童自らが変数を同定したり、仮説を設定したりする過程において、教師の指導助言は重要であり、どの場面で、どのような内容の支援的介入を行うべきかについて考案することも必要であろう。

以上のことから、本章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、第6学年の児童の現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解に効果があることを明らかにすることができた。次章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、第5学年の児童の科学的な知識の理解に与える効果を検証する。

引用文献

- 1) 中山迅・大場裕子・猿田祐嗣 (2004) 「科学理論と現象を関係付ける力を育てる教育課程の必要性－酸化・燃焼に関する TIMSS 理科の論述形式課題に対する回答分析から－」『科学教育研究』第 28 巻, 第 1 号, pp. 25-33.
- 2) 五島政一 (2008) 「PISA 調査と教育課程実施状況調査との違いについて」『理科の教育』57 (6), 東洋館出版社, pp. 375-378.
- 3) 小倉康 (2006) 「科学的探究能力の育成を軸としたカリキュラムにおける評価法の開発」『平成 17 年度科学研究費補助金特定領域研究 (課題番号 17011073) 研究報告書』 p. 228.
- 4) 森本信也・瀧口亮子・八嶋真理子 (1999) 「『対話』としての学習を志向した理科授業の事例的研究－小学校 6 年『燃焼』を通して－」『理科教育学研究』第 40 巻, 第 1 号, pp. 45-56.
- 5) 坂本美紀・村山功・山口悦司・稲垣成哲・大島純・大島律子・中山迅・竹中真希子・山本智一・藤本雅司・竹本裕子・橘早苗 (2007) 「科学的思考としての原理・法則のメタ理解－小学校第 6 学年『燃焼』を事例として－」『科学教育研究』第 31 巻, 第 4 号, pp. 220-227.
- 6) 山下春美・堀哲夫 (2010) 「OPP シートを活用した授業のグランドデザインに関する研究－小学校 6 年『ものの燃え方と空気』の単元を事例にして－」『山梨大学教育学部附属教育実践研究指導センター研究紀要』第 15 巻, pp. 20-42.

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

- 7) 小川博士・松本伸示 (2012) 「オーセンティック・ラーニングに依拠した理科授業が科学的な知識の理解に与える効果－小学校第6学年『ものの燃え方』を事例として－」『理科教育学研究』第56巻, 第3号, pp. 43-53.
- 8) 小林辰至 (2008) 「問題解決能力を育てる理科教育－原体験から仮説設定まで－」梓出版社, pp. 90-98.
- 9) 金子健治・小林辰至 (2010) 「The Four Question Strategy (4QS) を用いた仮説設定の指導が素朴概念の転換に与える効果－質量の異なる台車の斜面上の運動の実験を例として－」『理科教育学研究』第50巻, 第3号, pp. 67-76.
- 10) 金子健治・小林辰至 (2011) 「The Four Question Strategy (4QS) に基づいた仮説設定の指導がグラフ作成能力の習得に与える効果に関する研究－中学校物理領域『力の大きさとばねの伸び』を例として－」『理科教育学研究』第51巻, 第3号, pp. 75-83.
- 11) 文部科学省 (2005) 「小学校理科・中学校理科・高等学校理科指導資料－PISA2003 (科学的リテラシー) 及びTIMSS2003 (理科) 結果の分析と指導改善の方向－」 p. 67.
(http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku/siryu/05071301/002.pdf)
【最終アクセス：2013年8月25日】
- 12) 国立教育政策研究所 (2008) 「国立教育政策研究所紀要 第137集 特集：科学的リテラシー」 p. 60.
- 13) 清水誠・渡邊文代・安田修一 (2007) 「外化と内省が理解に与える効果－維管束の学習を事例に－」『理科教

第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果

育学研究』第48号，第2号，pp.45-51.

14) 同書

15) 遠西昭寿・岡島雅秀(2002)「概念変換をめざす授業」
日本理科教育学会編『これからの理科授業実践への提案』東洋館出版社，pp.70-73.

16) 同書

17) 文部科学省(2008)「小学校学習指導要領解説理科編
大日本図書，p.7.

18) 吉田淳(1996)「小学校高学年理科における物質概念
とエネルギー概念の構成に関する考察」『愛知教育大学
研究報告(教育科学編)』第45巻，p.146.

資料1 本単元実施前のオリエンテーションで用いた自作プリント

理科の学習の進め方

1. 6年生の学習内容

	1学期	2学期	3学期
内容	①物の燃え方と空気 ②動物のからだのはたらき ③植物のからだのはたらき ④生き物のくらしと環境	⑤太陽と月の形 ⑥大地のつくりと変化 ⑦てこのはたらき ⑧水よう液の性質とはたらき	⑨電気とわたしたちのくらし ⑩人と環境

2. ノートの記述例（見開き2ページ）

<p>日付 単元名 課題：(赤ペンで囲む) 予想：～と思います。わけは、～だからです。 (①生活経験、②学習内容をもとに) 実験：絵や図を使って分かりやすく！！ 実験操作の注意点を書く！！</p>	<p>結果：表やグラフに整理する。 ①実際にやって ②何度やっても } 事実を大切に！！ ③誰がやっても 考察：このことから、～と考えられる。 まとめ：(青ペンで囲む)</p>
--	--

3. 理科の学習で大切にしたいこと

(1)身近なものや既習経験から考えよう

理科の学習では、初めに「事象提示」と言って、「何かのきまりがあるもの」や「前時までの学習内容と関連付けて考えられるもの」を見せます。この時の発想の豊かさが、1時間の学習活動の充実ぶりを左右します。

自分が経験したこと、学んで身に付けてきたことを積極的に発言することで、一人一人の考え方を深めていける学習にしていきましょう。

(2)自分なりの予想と解決方法をもてるようにしよう

理科とは、自然界の中に存在する「ナゾ」を解き明かしていく学習です。従って、最初からきまりや規則性があるのではなく、多くの人が多くの観察実験を通して、少しずつ解明してきたものです。

もちろん、「正しい方法で、正しい結果を得る」ことは大切です。しかし、理科では結果を得るまでの道筋の方がもっと価値があるのです。「事象提示」を見て、自分の経験や知識をフル稼働することで、「自分なりの考え」をもって学習に取り組めたら、理科は楽しくなります。

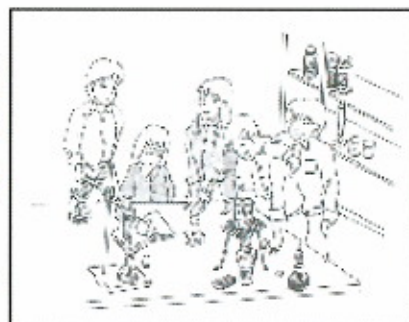
(3)安全面には十分に気をつけましょう

理科の実験中の事故の多くは、「不注意」によるものです。「自分の予想を証明しよう」、「どんな細かい変化も見逃さないぞ」という集中力をもって、観察・実験に臨んでいましょう。

その結果、理科の学習の楽しさを実感することができますし、安全面での心配もなくなります。

【演習】

右の図を見て、危険な箇所や行為を見つけましょう。



(4)理科室や道具を大切にしましょう

理科室や実験器具を大切に使うことは、お互いに気持ちよく学習する上で必要不可欠です。より確実な実験結果を出したり、安全に観察・実験したりするためにも、学習環境の充実を心掛けましょう。

4. 理科の学習を行うにあたって 身の回りには『科学がいっぱい』

理科は、私たちの身の回りにある「自然」のきまりやしきみを学ぶ学習です。従って、今までの自分の経験や疑問に思ったことが、実は重要なカギを握っていることが多いのです。

自分が「自然」を見た時、素朴に感じたことを積極的に交流し合しましょう。その活気あふれる交流の中に、「自然」との新しい出会いがあるのです。素敵な「自然」との触れ合いを楽しみにしていきましょう。

5. こんな「学び合い」を創り出していきましょう

(1)仲間が発言している時は、何も書かない。とにかく体ごと発表者の方に向かせ、最後まで聞きましょう。

①最初の段階で、「今、私が言ったこと分かった？△△さん、もう1回説明してみてください。」
というように仲間に投げ掛けてみると、お互いの理解が深まります。

②こんな発言ができるといいね。(自分の考えの道筋が分かりやすいね。)

ア：「～に、～をしたら、～になった。」

対象 方法 結果

イ：「このことから、〇〇は◇◇だと考えられる。」

結論

ウ：「このことから、〇〇は▽▽だとわかった。」

エ：「実験の結果、仮説と同じで(違って)～であった。」

オ：「理由は、◆◆だからだ。」

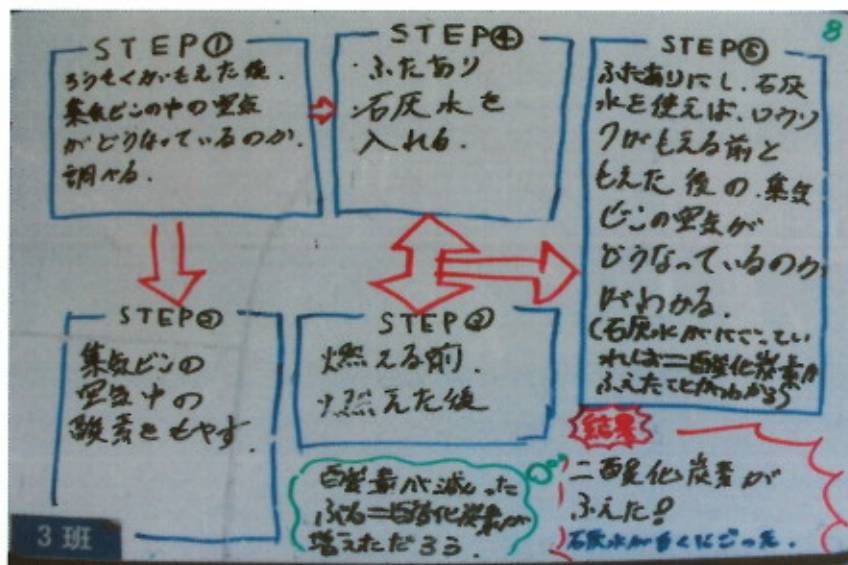
カ：「表やグラフから、～という規則性がわかる。」

(2)仲間の「学び方」のよさを見つけましょう。

- ・「比べて考えている」
- ・「細かい変化を見逃さず観察している」
- ・「自分の予想に立ち返って考えを話している」
- ・「実験の条件を変えて調べている」

このような「学び方のアイテム」を利用すると、理科の思考力がグーンと上がります。

資料2 授業の様子



グループ内で意見交換し、ホワイトボードに整理した4QSの実際



第3章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果



酸素の体積の割合は？

ずっと燃え続けているね



第4章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が科学的な知識の理解に与える効果

— 第5学年「振り子の運動」を事例として —

1. 問題の所在と目的

第3章では、第6学年「燃焼の仕組み」において、4QSを用いて仮説を設定する授業実践により、燃焼現象を科学的に説明する能力、及び燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解に効果があることを明らかにした。

本章は、研究課題3に位置付くものであり、第3章の結果を踏まえ、第5学年「振り子の運動」を題材として、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、科学的な知識の理解に与える効果を検証することとした。

本単元では、3つの条件（おもりの重さ、糸の長さ、振れ幅）を制御して振り子の動く様子を調べ、糸につるしたおもりが1往復する時間は、おもりの重さや振れ幅によっては変わらないが、糸の長さによって変わることを学習する¹⁾。しかしながら、振り子の概念形成の難しさを指摘する研究がいくつか報告されており^{2) 3) 4) 5)}、学習内容の定着が困難な単元の1つとして知られている。

こうした問題点に対し、振り子の概念形成に効果が認められた研究も報告されている。例えば、加藤^{6) 7) 8)}、加藤・下妻⁹⁾、高垣¹⁰⁾、高垣・田原¹¹⁾、高垣・田原・富田¹²⁾、

第4章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が科学的な知識の理解に与える効果

村山・久保田¹³⁾、植木・久保田¹⁴⁾、川崎・中山・松浦¹⁵⁾など、児童の素朴概念を科学的概念へと変換を促す研究が多く見られる。しかし、これらの先行研究を除けば、振り子の概念形成に有効な指導方法の蓄積は未だ十分とはいえない。

以上のことを踏まえ、本章においても4QSを採用し、児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、「振り子の運動」に関する科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。

2. 研究の方法

2-1. 調査の対象

岐阜県内の公立小学校第5学年2学級計78人（実験群39人，統制群39人）に対して授業及び質問紙調査を実施した。

2-2. 授業及び質問紙調査の実施時期

図4-1に示したように，授業及び質問紙調査については，2014年11月中旬から12月中旬にかけて実施した。また，本章においても，仮説の設定については4QSを採用した。そして，第3章と同様に，両群の授業実施条件は，4QSの有無以外すべて統一した。図4-2に，実験群の児童が書いた4QSの記述例を示す。

	実験群	統制群
事前調査	<実施時期：2014年11月中旬> 「振り子の運動」に関する理解度の測定	
第1時	ターザンロープを用いた体験的追究 (1往復する時間をできるだけ短くする方法)	
第2～4時	4QSによる児童一人一人の 仮説設定と検証実験の実施	学級全体の話し合いによる 仮説設定と検証実験の実施
第5～8時	教科書に即した授業の実施	
事後調査	<実施時期：2014年12月中旬> 「振り子の運動」に関する理解度の測定（事前調査と同じ）	

図4-1 授業及び質問紙調査の実施時期

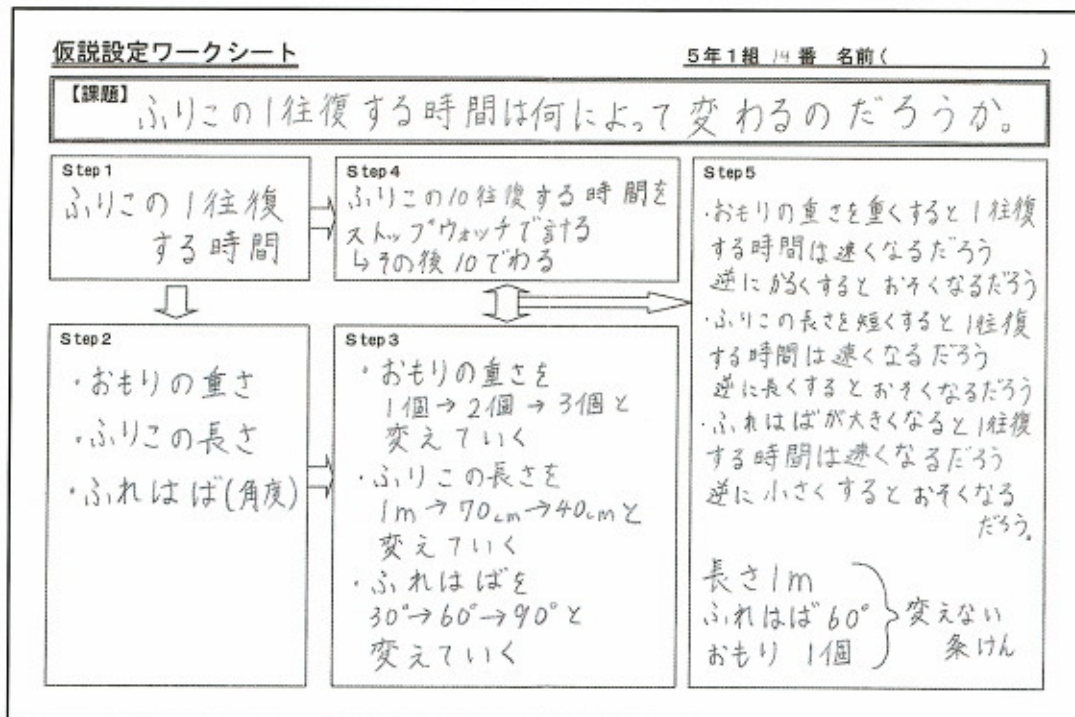


図4-2 実験群の児童が記述した4QSの例

2-3. 分析の方法

「青森県平成23年度学習状況調査問題実施報告書問題用紙等小理」¹⁶⁾を参考に、図4-3に示す評価問題を作成した。そして、両群の児童を対象に「振り子の運動」に関する科学的な知識の理解についての質問紙調査を実施した。

なお、質問紙は3問で構成されており、設問1は「振り子の長さが示す意味の理解」、設問2は「振り子の周期を調べるための3つの条件の制御」、設問3は「1往復する時間をさらに長くするための実験方法」について、それぞれ調査した。

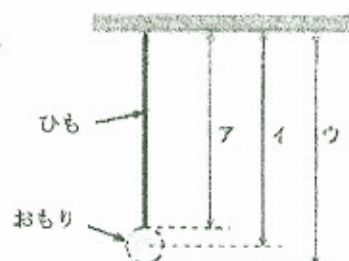
「振り子の運動」事前調査問題

振り子が1往復する時間と、「おもりの重さ」「ふれはば」「振り子の長さ」の3つの条件との関係について調べました。

1. 「振り子の長さ」とは、右の図のどの部分をさすか。

アからウまでの中から1つ選んで、その記号を書き

ましょう。 答え



2. 振り子が1往復する時間は、ふれはばに関係しているかを調べるための実験をします。

そのとき、「おもりの重さ」「ふれはば」「振り子の長さ」の3つ条件は、調べる（変える）条件とそろえる条件のどちらになりますか。下の表に3つすべて書きましょう。

【1往復する時間は、ふれはばに関係するか】

調べる（変える）条件	そろえる条件

3. 「おもりの重さ 50g」「ふれはば 30°」「振り子の長さ 50 cm」の条件で振り子をふらせ、振り子が1往復する時間を調べたら、約 1.4 秒でした。この振り子の条件を1つだけ変えて、1往復する時間をさらに長くしたいと思います。その方法を、アからカまでの中から1つ選んで、その記号を書きましょう。 答え

- ア おもりの重さを 40gにする
- イ おもりの重さを 60gにする
- ウ ふれはばを 20° にする
- エ ふれはばを 40° にする
- オ 振り子の長さを 40 cmにする
- カ 振り子の長さを 60 cmにする

図 4 - 3 調査に用いた質問紙

3. 結果と考察

まず、事前・事後の各質問紙における個人の合計得点の平均と標準偏差をそれぞれ算出した。満点は3点である。次に、これらの得点を「設問全体の理解度」とみなし、対応のない t 検定を行った。

表4-1に示したように、事前では有意な差がみられなかったが、事後では実験群の方が統制群よりも有意に高かった。

表4-1 事前・事後の各質問紙（3点満点）の結果
（実験群：N=39，統制群：N=39）

	事前	事後
実験群	0.21 (0.47)	2.46 (0.79)
統制群	0.10 (0.31)	2.05 (0.94)

注) 表内の数字は平均（標準偏差）を示す。

t 検定（両側検定）を行った結果、事前では、 $t(76) = 1.14$ 、 $p = 0.26$ であったため、両群の間には有意な差が認められなかったが、事後では、 $t(76) = 2.08$ 、 $p = 0.04$ であったため、実験群の平均点の方が統制群のそれよりも有意に高かった。

4. 本章のまとめ

本章では、第5学年「振り子の運動」において、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。

この目的を達成するために、第5学年「振り子の運動」において、4QSを用いた実験群39人と、用いなかった統制群39人を対象とした授業実践及び学習前後の質問紙調査の分析を行った。

その結果、本章の指導方法は、「振り子の運動」に関する科学的な知識の理解に有効であることが示された。

「振り子の運動」では、振り子の運動の規則性について、条件を制御して調べる能力を育成することを目的としている。そのためには、日常生活の中で振り子の運動に接する体験が少ない現状を踏まえ、児童の興味・関心に基づく学習を充実させることが必要である。そこで、本単元の導入にあたる第1時に「ターザンゲームをしよう」という学習課題を提示し、体育館でターザンロープにぶらさがり、一往復する時間をできるだけ短くする方法について体験的に追究させた。ターザンロープを用いた授業の効果について、北村¹⁷⁾は課題づくりに有効であるとし、矢野・川上¹⁸⁾は児童自らがおもりとなって振り子にぶらさがり経験は、糸の長さ、振れ幅、おもりの重さといった、周期を変える3つの変数の想起、及び根拠を明確にして自分の予想を述べる能力の向上を促したとしている。このことから、自然事象に内在する原因（独立変数）と結果（従属変数）

を、児童が自らのターザンロープの体験に基づいて変数を同定したり、グループの仲間と協働して因果関係を認識し仮説を設定したりするといった効果が促進されたと考えられる。

自然体験の重要性について三石¹⁹⁾は、「自然に働きかける中で、自然の本質的な捉え方につながる個別的な事実認識を確かなものにする。」としている。さらに、西川²⁰⁾は、「実物を過去に見たことがある場合、写真から情報を構成できる。しかし、実物を過去に見たことがない場合は、写真から情報を再構成することはできない。理科教育では、生の経験が重要であるとする主張があるが、以上の結果は、そのような原体験が後の抽象的情報の受け皿となることを示す結果である。」と述べている。これらの知見は、自然体験を行うことによって、自然を認識する力が育成されるということを示唆している。

2008年告示の小学校及び中学校学習指導要領^{21) 22)}では、主体的に学習に取り組む態度を養うことが重視されている。理科授業においても、児童が見いだした問題に対して予想や仮説をもち、それらを基に観察、実験を行うといった主体的な問題解決の活動により、自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図ることが重視されている²³⁾。

こうした近年の動向を鑑み、本章において、自然事象に内在する変数を同定させたり、グループの仲間と協働して仮説を設定させたりするような思考のトレーニングを促す授業を実践し、その効果を検証したことは意義があると考えられ、継続的に行うことが必要であろう。

第4章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が科学的な知識の理解に与える効果

課題としては、「振り子の運動」以外の、学習内容の定着が困難とされる抽象的な力学的領域において、本章で示唆された効果的な指導方法を検討していくことが望まれる。

以上のことから、本章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、第5学年の児童の科学的な知識の理解に効果があることを明らかにすることができた。次章では、4QSを用いて仮説を設定させるとともに、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が、考察の記述能力の育成に与える効果を検証する。

引用文献

- 1) 文部科学省(2008)「小学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, p.46.
- 2) 隅田学(1995)「『振り子の運動』に関する学習者の認知の発達的変容と学校理科学習の効果」『日本理科教育学会研究紀要』第36巻, 第1号, pp.17-28.
- 3) 西川純(1999)「なぜ, 理科は難しいと言われるのか? - 教師が教えていると思っているものと学習者が本当に学んでいるものの認知的研究 -」東洋館出版社, p.16.
- 4) 森本弘一(2010)「教員養成系大学における小学校理科の授業」『奈良教育大学紀要人文・社会科学』第59巻, 第1号, pp.151-157.
- 5) 植木幸広・久保田善彦(2011)「5年生『振り子の運動』における仮説設定に影響された思いこみ」『日本科学教育研究会研究報告』第25巻, 第5号, pp.5-8.
- 6) 加藤尚裕(2000)「『振り子の特性』に関する概念形成の研究 - 自由試行を中心にして -」『理科教育学研究』第40巻, 第3号, pp.1-11.
- 7) 加藤尚裕(2007)「振り子の特性に関する概念獲得と観察・実験活動に見られるメタ認知 - 小学校第5学年『振り子のはたらき』を事例として -」『理科教育学研究』第48巻, 第2号, pp.13-21.
- 8) 加藤尚裕(2008)「メタ認知ツールとしてのコンフリクトシートの利用に関する試み - 小学校第5学年『おもりの働き』の授業を事例として -」『理科教育学研究』

第48巻，第3号，pp.45-56.

- 9) 加藤尚裕・下妻淳志 (2011) 「小学生の振り子の特性に関する概念形成を促す素朴概念シートの開発－メタ認知的モニタリングの働きに着目して－」『国際経営・文化研究』淑徳大学国際コミュニケーション学会，第15巻，第2号，pp.49-57.
- 10) 高垣マユミ (2005) 「観察・実験によって『振り子の周期』に関する概念はどのように形成されるのか」『科学教育研究』第29巻，第3号，pp.184-195.
- 11) 高垣マユミ・田原裕登志 (2005) 「振り子の概念形成を促す『学習者主体の思考実験シミュレータ』の開発」『理科教育学研究』第45巻，第3号，pp.79-86.
- 12) 高垣マユミ・田原裕登志・富田英司 (2006) 「理科授業の学習環境のデザイン－観察・実験による振り子の概念学習を事例として－」『教育心理学研究』第54巻，第4号，pp.558-571.
- 13) 村山尚士・久保田善彦 (2009) 「『振り子』の学習理解に関する研究－振り子『おもりの重さ』概念と類似する自由落下学習を振り子学習前に行う影響－」『理科の教育』58(4)，東洋館出版社，pp.286-289.
- 14) 植木幸広・久保田善彦 (2012) 「振り子の学習における数値の処理が，数値比較の判断に与える影響－平均と誤差の認識に着目して－」『理科教育学研究』第53巻，第2号，pp.219-227.
- 15) 川崎弘作・中山貴司・松浦拓也 (2012) 「振り子の概念獲得に関する研究－子どもの認識に基づいた学習指導法を通して－」『理科教育学研究』第53巻，第2号，

pp. 241-249.

16) 青森県教育委員会 (2011) 「青森県平成 23 年度学習状況調査問題実施報告書問題用紙等小理」 p.124.

(http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kyoiku/e-gakyo/files/gakushu13_h23.pdf)

【最終アクセス：2014年10月20日】

17) 北村弘樹 (2002) 「おもりをふったときーターザンロープ体験からの課題づくりー」『初等理科教育』第36巻, 第2号, pp.52-53.

18) 矢野三恵・川上紳一 (2007) 「小学5年『おもりのはたらき』における興味・関心を高める教材の研究, 指導方法の工夫, および授業実践による検証」『岐阜大学大学院教育学研究科 教師教育研究』第3巻, pp.181-188.

19) 三石初雄 (1992) 「自然認識と教育ー自由で多様なモノ・人との関わりを基調とした学級づくりと確かな自然認識ー」『教育/教育科学研究会』第42巻, 第12号, pp.69-73.

20) 前掲書3), p.81.

21) 文部科学省 (2008) 「小学校学習指導要領」 pp.13-14.

22) 文部科学省 (2008) 「中学校学習指導要領」 pp.15-16.

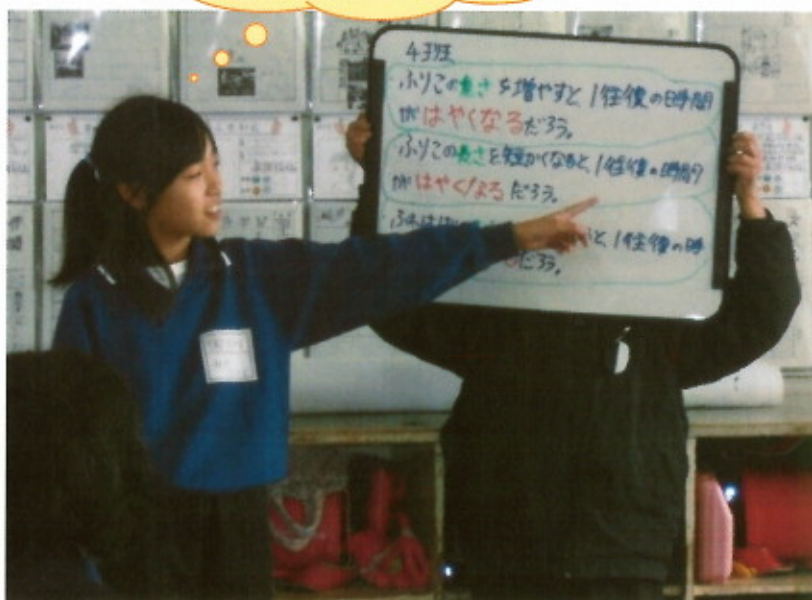
23) 前掲書1), pp.7-11.

資料 授業の様子

3つの仮説が
考えられるね



振り子の長さが
関係していると思う



第4章 児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が科学的な知識の理解に与える効果

実験結果を仮説と
関係付けると・・・



正面から見て、
正確に測定しよう



第5章 因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が考察の記述能力の育成に与える効果

－ 第6学年「てこの規則性」を事例として －

1. 問題の所在と目的

第3章及び第4章では、第6学年「燃焼の仕組み」及び第5学年「振り子の運動」において、4QSを用いて仮説を設定する授業実践により、認知的側面（現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解）に効果があることを実証的に明らかにしてきた。

本章は、研究課題3に位置付くものであり、第3章及び第4章の結果を踏まえ、第6学年「てこの規則性」を題材として、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が、考察の記述能力の育成に与える効果を検証することとした。

2008年告示の小学校及び中学校学習指導要領解説理科編¹⁾²⁾では、観察・実験の結果を整理し考察し表現する学習活動の充実が目指されている。具体的には、小学校では観察・実験において結果を表やグラフに整理し、予想や仮説と関係付けて考察すること、中学校では観察・実験の結果を分析して解釈し表現することが重視されている。

しかしながら、小学校第6学年及び中学校第3学年を対象とした「平成27年度全国学力・学習状況調査報告書」

3) 4) において、児童・生徒は観察・実験の結果を考察して分析した内容を記述したり、数値で表した表を分析して解釈し規則性を見いだしたりすることに課題があることが示されている。これまでに、観察・実験の結果を整理し考察することについての問題点を指摘する研究は、いくつか報告されている^{5) 6) 7) 8)}。

こうした問題点について松原⁹⁾は、「aしたら、bになった。cから、dと考えた。その理由は、eだからである。」といった、実験レポートにおける結果や考察の定型文を提示して記述させる指導方法が有効であると述べている。さらに、定型文を用いることで、平賀¹⁰⁾は理由づけのレベルが向上すること、松浦¹¹⁾は結果と考察を区別して記述することができるようになったとしている。

しかしながら、松浦¹²⁾、清水・黒川・斉藤¹³⁾及び鮫島・清水¹⁴⁾は、予想や方法の欄の記述については、1回の指導でもある程度改善できるが、結果の記述が不十分であったり、予想や結果に基づく考察ができていなかったりするといった点については、あまり改善されないことを明らかにしている。これらの研究から、学習者に定型文を与えたとしても、考察の記述能力については、依然として課題が残されていることが分かる。

こうした課題に対応する知見を得るために、考察の指導に関する先行研究を概観する。木下・松浦・角屋¹⁵⁾は、観察・実験の活動場面においては、子どもが目的や仮説を意識したり、考察の場面においては、得られた結果を仮説に照らしながら解釈したりすることが重要であるとしている。森本¹⁶⁾は、日本の児童・生徒は諸外国と比べ

て、観察・実験における考察を十分に機能させていないことを指摘するとともに、予想と結果を照合させて思考することが重要であるとしている。小林¹⁷⁾は、観察・実験結果の感想から脱却し、的確に考察させるためには、仮説と観察・実験の結果を関係付けて検討させる指導が必要であるとしている。「小学校理科の観察、実験の手引き」¹⁸⁾では、考察の場面で予想や仮説の妥当性を検討することは、科学的な見方や考え方を構築する上で意義があり、価値があるとしている。角屋¹⁹⁾は、自らの仮説を検証するために観察・実験を行うとしたうえで、考察を仮説と実験結果が一致しているか否かを検討することであると定義している。宮本²⁰⁾は、科学的探究の文脈において、データ解釈は仮説設定との関連が密接であるとし、特に独立変数と従属変数の因果関係を踏まえた仮説設定とデータ解釈の関連は密であり、重視しなければならないと述べている。これらの研究は、結果を整理し、予想や仮説と関係付けた考察の言語化を重視するという小学校学習指導要領解説理科編²¹⁾が掲げる理科の目標と一致している。

しかしながら、木下・松浦・清水・寺本・角屋²²⁾が「観察・実験の結果を整理し考察する活動を高めるためには、そこに大きな影響を及ぼしている教師の適切な手立てが必要である。」と指摘するように、上述した先行研究では、仮説と考察を対応させることの重要性について示唆されているものの、実際の授業において教師がどのような考察の指導を行えばよいのか、考察の記述能力の育成を図る指導方法の検証に焦点を当てた実証的研究はあまり見

られなかった。

以上のことを踏まえ、本章においても4QSを採用し、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が、考察の記述能力の育成に与える効果について明らかにすることを目的とした。

2. 研究の方法

2-1. 調査の対象

岐阜県内の公立小学校第6学年2学級計56人に対して授業及び調査を実施した。4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる1学級28人を実験群、4QSを用いた仮説設定のみを行う1学級28人を統制群とし、授業条件の異なる両群を比較検討することで、本章の指導方法に関する効果を明らかにすることとした。

2-2. 考察の定義

先述した木下・松浦・角屋²³⁾、小林²⁴⁾及び角屋²⁵⁾の研究を参考に、「因果関係を踏まえた仮説と実験結果を関係付けて仮説の真偽（仮説と結果の一致・不一致）を検討したり、実験結果を分析的・総合的に解釈したりして結論を導出すること」を、本章における考察と定義することとした。

2-3. 考察に必要な要素

有本・吉田²⁶⁾は、「目的に対応した考察がなされているか」、「考察する文が結論＋根拠の順になっているか」、「考察する文が定型文にあっているか」など、考察に関する6つのチェックポイントを示している。そこで本章では、先述した考察の定義、及び松原²⁷⁾や有本・吉田²⁸⁾の研究を参考に、「実験の結果から、①（結論）だと考えられる。」、「その理由は、②（根拠）だからだ。」、「実験の

第5章 因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が考察の記述能力の育成に与える効果

結果は、③ 自分の仮説と（一致した・一致しなかった）。」
という、3つの要素が入ったワークシートを考案した（図5-1）。そして、このワークシートを用いて考察の記述指導を行うことで、仮説の真偽を検討したり、科学的な証拠や原理に基づきながら実験結果を解釈したりして、結論を導き出すことができると考えた。

考察しよう。	
①課題に対する結論 実験の結果から， だと考えられる。	②結論を導き出した根拠 その理由は， だからだ。
③仮説と結果の照合 実験の結果は、自分の仮説と（一致した・一致しなかった）。	

図 5 - 1 3つの要素が入った考察のワークシート

2 - 4 . 本単元の概要

表5-1に示すように、本単元は全10時間で構成されている。第1次で、棒を使って重いおもりを持ち上げる活動を通して、棒を工夫して使うと重い物を楽に持ち上げられることを体感させた。

第2次で、てこをかたむけるはたらきが、力の大きさや支点からの距離によって、どのように変化するかをてこ実験器を使って調べさせた。特に、本授業実践の対象となる第5～6時では、左のうでの「おもりの位置と重さ」を固定したてこを使い、てこをかたむけるはたらきが左右で等しくなるのはどんなときか調べ、その結果を表に整理し、「てこが水平につり合うときのきまり」についてまとめさせた。第7時では、左のうでの「おもりの位置と重さ」をいろいろと変えて調べたときの結果を表に整理し、第5～6時との共通点や規則性についてまとめさせた。

第3次で、てこのきまりを利用して、物の重さを比べたりはかたりする方法を考えさせたり、てこ実験器を使って調べさせたりした。

第4次で、てこを利用した道具を調べることを通して、てこのきまりが日常生活の中でどのように使われているかを考えさせた。

表 5 - 1 本単元の指導計画（全 10 時）

単元の進行	主な学習内容
第1次（3時間） 棒で重い物を持ち上げよう	① てこの支点，力点，作用点について知る。 ② おもりの位置や力を加える位置を変えると，手ごたえがどう変わるかを予想して調べる。 ③ てこを使っておもりを持ち上げる場合，小さな力で持ち上げられるのは，どのようなときかまとめる。
第2次（4時間） てこの働きには，どんなきまりがあるか	④ てこを傾ける働きと，力を加える位置や力の大きさとの関係を考える。 ⑤ 左のうでの「おもりの位置と重さ」を固定したてこを使い，てこを傾ける働きが左右で等しくなるのはどんなときか調べ，その結果を表に整理し，てこが水平につり合うときのきまりについてまとめる。 ⑦ 左のうでの「おもりの位置と重さ」をいろいろと変えて調べたときの結果を表に整理し，前時（第5～6時）との共通点や規則性についてまとめる。
第3次（2時間） てこが水平につり合うときのきまりを使って物の重さを調べよう	⑧ てこのきまりを利用して，物の重さを比べたりはかったりする方法を考え，てこ実験器を使って確かめる。 ⑨ てこやてんびんを利用したはかりをつくり，物の重さをはかる。
第4次（1時間） てこを利用した道具をさがそう	⑩ 身のまわりには，どんなてこを利用した道具があるかがし，てこの働きについて考える。さらに，てこの働きについて，学習したことをまとめる。

2 - 5 . 授業及び調査の実施計画

図 5 - 2 に，授業及び調査の実施計画を示す。授業については，2014 年 10 月中旬から 11 月上旬にかけて実施した。考察の記述能力に関する調査については，本単元実施前に，2014 年 4 月から 5 月にかけて実施した単元「燃焼の仕組み」の第 5 時（学習課題「ろうそくを燃やし続けるには，どうしたらよいだらうか。」）におけるノートの内容を分析することとした。さらに，本単元の第 6 時終了後に，ワークシートの記述内容を分析することとした。

第5章 因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が考察の記述能力の育成に与える効果

	実験群	統制群
本単元実施前	「考察の記述能力」に関する調査（調査対象単元「燃焼の仕組み」）	
第1～4時	教科書に即した授業の実施	
第5時	4QSによる児童一人一人の仮説設定	
第6時	・検証実験の実施 ・考察に必要な3つの要素が入ったワークシートへの記述	・検証実験の実施 ・「考察しよう。」という指示文のみのワークシートへの記述
	「考察の記述能力」に関する調査（調査対象単元「てこの規則性」）	
第7～10時	教科書に即した授業の実施	

図5-2 授業及び調査の実施計画

図5-2に示したように、第5時では、両群の児童に対して、まず、「左のうでの3の位置におもりを20g、右のうでの1の位置におもりを60gつるし、水平につり合ったてこ」を提示した。次に、「左のうでのおもりの位置と重さはこのまま固定させておきます。右のうでのおもりの位置を変えていっても、てこが水平につり合ったままの状態にするには、おもりの重さをどのように変えていけばいいでしょうか。」と発問した。その後、本時の学習課題（てこをかたむけるはたらきは、おもりの位置や重さと、どのような関係があるのだろうか。）を板書した。

学習課題の提示後、表5-2に示したように、4QSを用いて児童自らがStep1からStep4までの変数の同定と、Step5の仮説設定を行った。そして、グループや学級全体で、互いの仮説について検証可能であるのか否かを検討した後、実験を行った。

4QS の記述内容については、本単元実施前に共同研究者によって検討がなされており、児童の思考の自由度を保障しつつ、検証可能な「問題」にするための適切な指導助言が想定されている。なお、本授業実践では、制御する2変数（おもりの位置と重さ）の特性上、「Step 2 → Step 1 → Step 3 → Step 4 → Step 5」の順に4QSへの記述を促した。

以上のことから、第5時における両群の授業条件の差異は皆無である。

表5-2 変数の同定と仮説設定の指導過程

指導過程	教員の発問と児童の記述例
Step 2	◎Step 2に、実験によって変えていく条件を書いてください。 ・右のうでのおもりの位置と重さ
Step 1	◎Step 1には、Step 2のおもりの位置と重さを変えていくことで影響を受ける条件を書いてください。 ・てこをかたむけるはたらき
Step 3	◎Step 3には、Step 2のおもりの位置と重さをどのように変化させていくか考えてください。 ・おもりの位置と重さの積を左右で等しくする
Step 4	◎Step 4には、Step 1のてこをかたむけるはたらきは、どのようにすれば表すことができるか考えてください。 ・てこが水平につき合うかどうか
Step 5	◎Step 5には、Step 3とStep 4を関連付けて、「…すれば、…は…になるだろうか。」という仮説を書いてください。 ・おもりの位置と重さの積を左右で等しくすれば、てこは水平につき合うのだろうか

注) ◎は教員の発問、・は児童の記述例を示す。

第6時では、両群ともに、4QSを用いて児童自らが設定した仮説に基づいて実験を行わせた。具体的には、てこ実験器を使って、左のうでにつるすおもりの位置を3、おもりの重さを20gに固定し、左のうでのてこをかたむけるはたらきがかわらないようにした後、右のうでにおもりをつるして、てこが水平につり合うときのおもりの位置と重さを調べさせた。なお、図5-3に示す実験の結果を整理するための表については、授業開始前に配付しておいた。さらに実験中には、「てこが水平につり合うときのきまりを詳しく調べましょう。」といった机間指導を行い、実験の目的の再認識を促した。

実験後、実験群の児童には、図5-1に示した考察のワークシートを配付するとともに、実験の結果を整理した表（図5-3）に基づく考察を促した。一方、統制群の児童には、「考察しよう。」という指示文のみが記述されたワークシートを配付するとともに、口頭で「考察では、まず、課題に対する結論を書きましょう。次に、結論を導き出した理由を書きましょう。最後に、自分の仮説と実験の結果が一致したのか、それとも一致しなかったのかを書きましょう。」と指導した。

	左のうで	右のうで					
おもりの位置							
おもりの重さ (g)							

図5-3 実験の結果を整理するための表

2-6. 考察の記述能力に関する調査方法

2-6-1. 評価基準の作成

清水・黒川・斉藤²⁹⁾、鮫島・清水³⁰⁾の研究を参考に、考察に必要な3つの要素に基づく評価基準を作成した(表5-3)。なお、統制群の児童においては、3つの要素の記述位置(順番)が入れ替わっていても文意が整っていれば正答とした。

また、A基準に分類された児童を、本章が目指す考察の記述能力が育成された児童と判断することとした。

2-6-2. 考察の記述能力に関する分析方法

まず、考察に必要な3つの要素について、児童が記述したワークシートの正誤を分析した。次に、表5-3に示す評価基準に従って、ワークシートの記述内容を、A基準とそれ以外のB、C基準とに分類した。最後に、直接確率計算 2×2 (両側検定)で有意差の有無を検証した。

表 5 - 3 考察の記述能力に関する評価基準

基準	記述内容
A	<ul style="list-style-type: none"> ・ ① 結論， ② 根拠， ③ 仮説の 3 つの要素全てについて十分な説明が認められる記述
B	<ul style="list-style-type: none"> ・ ① 結論， ② 根拠， ③ 仮説のうち， 1 つの要素でも未記入や不十分な説明が認められる記述
C	<ul style="list-style-type: none"> ・ ① 結論， ② 根拠， ③ 仮説のうち， 2 つ以上の要素について未記入や不十分な説明が認められる記述

注) 本単元実施前の両群，及び本授業実践における統制群の児童においては，3つの要素の記述位置（順番）が入れ替わっていても文意が整っていれば正答とする。

3. 結果と考察

3-1. 本単元実施前における考察の記述能力（等質性）

表5-4に、2014年4月から5月にかけて実施した単元「燃焼の仕組み」の第5時における両群の児童の記述を分類した結果を示す。まず、両群においてA基準とそれ以外のB、C基準に分類した。次に、2×2のクロス集計について直接確率計算を用いて検定したところ、両群の間に有意な差は認められなかった（両側検定： $p=1.0000$, *n. s.*）。

このことから、本単元実施前においては、考察の記述能力に関して、両群の間に差はないと判断した。

表5-4 本単元実施前の考察の記述能力の結果

	A基準	B基準	C基準
実験群（N=28）	4（14.3）	13（46.4）	11（39.3）
統制群（N=28）	3（10.7）	16（57.1）	9（32.2）

注）単位は人、（ ）内の数字は％を示す。

さらに、表5-3の評価基準を踏まえて分類した児童の記述例を以下に示す。

図5-4に示したA基準の記述例は、「ろうそくが燃え続ける」という従属変数と、「空気」という独立変数の因果関係を踏まえながら結果を解釈し、結論を導き出していることが分かる。また、実験の結果に基づいた根拠を

示したり，自らの予想や仮説と実験の結果を関係付けて仮説の真偽を検討したりしていることが分かる。

図5-5，5-6に示した記述例は，いずれも先述したA基準の結論に関する記述と同様，従属変数と独立変数の因果関係を踏まえながら結果を解釈し，結論を導き出していることが分かる。しかしながら，図5-5については，根拠に関する記述が不足していることから，B基準の考察であると判断した。図5-6については，根拠及び仮説の真偽に関する記述が認められないことから，C基準の考察であると判断した。

③ ぼくの予想（仮説）通りで， ② 集気びんの下から線香のけむりが吸い込まれ，上から出ていきました。
① このことから，ろうそくが燃え続けるには，たえず空気が入れ替わる必要があることがわかりました。

注) 丸数字と下線は筆者が加筆した。③は仮説，②は根拠，①は結論に関する記述をそれぞれ示す。

図5-4 実験群の児童の記述例（A基準）

③ 結果は仮説通りだった。① このことから、ろうそくが燃え続けるには、新しい空気が常に入れかわらなければならぬといえる。

注) 丸数字と下線は筆者が加筆した。③は仮説，①は結論に関する記述をそれぞれ示す。

図 5 - 5 統制群の児童の記述例 (B 基準)

① この実験で、ろうそくが燃え続けるには、新しい空気が必要だし、空気が入れ替わらないと燃え続けることができないことが分かった。

注) 丸数字と下線は筆者が加筆した。①は結論に関する記述を示す。

図 5 - 6 実験群の児童の記述例 (C 基準)

3 - 2 . 本授業実践における考察の記述能力

表 5 - 5 に、本授業実践 (第 5 ~ 6 時) における両群の児童の記述を分類した結果を示す。まず、両群において A 基準とそれ以外の B, C 基準に分類した。次に、2 × 2 のクロス集計について直接確率計算を用いて検定したところ、両群の間に有意な差が認められた (両側検定: $p = 0.0186^*$)。

このことから、実験群の方が統制群よりも、A 基準の考察を記述できる児童が有意に多いことが認められた。

表 5 - 5 本授業実践の考察の記述能力の結果

	A 基準	B 基準	C 基準
実験群 (N=28)	24(85.7)	4(14.3)	0(0.0)
統制群 (N=28)	15(53.6)	11(39.3)	2(7.1)

注) 単位は人, () 内の数字は%を示す。

さらに,表 5 - 3 の評価基準を踏まえて分類した児童の記述例を以下に示す。

図 5 - 7, 5 - 8 に示した A 基準の記述例は, 結論に関する記述について, 両群ともに「てこが水平につき合う」という従属変数と, 「おもりの位置と重さの積」という独立変数の因果関係を踏まえながら結果を解釈し, 結論を導き出していることが分かる。また, 「その理由は, どの組み合わせでも, おもりの位置×重さ=60 になっているからだ。」といった, 実験の結果に基づく根拠を記述したり, 自らの仮説と実験の結果とを関係付けて仮説の真偽を検討したりしていることが分かる。

誤答の原因を探るために, ワークシートの記述内容について分析を加えたところ, 実験群について, B 基準に分類された 4 人は, いずれも結論に関する記述が不十分であった。一方, 統制群については, B 基準に分類された 11 人中 5 人は結論に関する記述が不十分であり, 残りの 6 人は仮説の真偽に関する記述が見られなかった。C 基準に分類された 2 人は, 仮説の真偽に関する記述が未記入で, 結論に関する記述が不十分であった。結論に関

する記述が不十分であったためにB基準に分類された児童の多く（実験群：4人，統制群：11人中5人）が、「おもりの位置と重さの積が左右で等しくなるとき，てこが水平につり合うと考えられる。」といった正答に対し，「積（おもりの位置×重さ）」，「左右が等しい」及び「水平につり合う」などの科学的な言葉を適切に使用して説明することができていなかった。

実験の結果から，① おもりの位置×重さの値が左右で等しいとき，てこが水平につり合うと考えられる。また，② これらには反比例の関係がある。その理由は，③ どの組み合わせでも，おもりの位置×重さ=60 になっているからだ。実験の結果は，④ 自分の仮説と一致した。

注）丸数字と下線は筆者が加筆した。①は結論，②は根拠，③は仮説に関する記述をそれぞれ示す。

図5-7 実験群の児童の記述例（A基準）

② おもりの位置と重さをかけると，どれでも60になることから，① 左右を同じ数値にすると，てこが水平につりあうと考えられる。③ 実験の結果は仮説通りだった。

注）丸数字と下線は筆者が加筆した。②は根拠，①は結論，③は仮説に関する記述をそれぞれ示す。

図5-8 統制群の児童の記述例（A基準）

4. 本章のまとめ

本章では、第6学年「てこの規則性」において、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が、考察の記述能力の育成に与える効果について明らかにすることを目的とした。

この目的を達成するために、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる1学級28人を実験群、4QSを用いた仮説設定のみを行った1学級28人を統制群とし、授業及びワークシートの記述内容の分析を行った。

その結果、本章の指導方法は、結論、根拠、仮説という3つの要素に基づいた考察の記述能力の育成に効果があることが明らかとなった。

課題としては、以下の3点について検討を加えることが望まれる。

第1に、考察の記述能力は、理科教育において主要な能力の1つであるが、その習得は児童にとって容易なことではない。今後は、本章で得られた示唆に基づく指導方法を複数の単元を通して継続的に行い、その効果を検証する必要がある。

第2に、本授業実践において、統制群でも半数以上の児童がA基準の考察を記述できたことから、4QSを用いた仮説設定が考察の記述能力に影響を及ぼしたのではないかと推察される。しかし、本章では、これを検証する調査を行っていないため、対応関係の究明については今後の課題である。

第3に、4QSを用いて因果関係を踏まえた仮説を設定させたにもかかわらず、統制群においてB基準に分類された11人中6人、及びC基準に分類された2人には、いずれも仮説の真偽に関する記述が見られなかった。これらについての主たる原因は、「分かっていたけれど書けなかった」という単純な「記述忘れ」や、実験の結果と関係付けて仮説の真偽を検討することの意識が低く習慣化されていないなどの可能性が考えられるが、記述するという作業に伴う認知的負荷の影響（例えば、「書くことが面倒だ」、「楽をしたい」）も否定できない。先述した宮本³¹⁾の研究においても、理科における仮説設定とデータ解釈との関連について調査した結果、「結果の予想とデータ解釈とを関連させて記述できる割合は大変低い」といった問題点を指摘しているが、その要因については明らかにされていない。このような認知過程の把握に関する問題に対して、児童のノートやワークシートの記述内容の分析だけでは限界があると考えられる。そこで、授業や質問紙調査の後にインタビュー調査を実施したり、授業中の発話を収集・分析したりすることも視野に入れて、よりの確で詳細な個々の質的データを収集するための調査・分析方法を考案する必要がある。さらに、認知的負荷に基づく記述の省略を回避し、科学的な言葉を用いたり、科学的な根拠を示したりしながら自分の考えを論理的に説明するとともに、適切な文章で記述できる児童をどのように育成していくかを検討することも課題として残されている。

以上のことから、本章では、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させ

る指導が、考察の記述能力の育成に効果があることを明らかにすることができた。併せて、実験の結果を整理し考察する学習活動の充実を図るためには、教師が考察の構成要素を明示し、それを用いて具体的な記述の仕方を教授するとともに、児童自身に因果関係を踏まえた仮説を設定させる指導が必要である、という指導方法の改善に向けた示唆を得ることができた。

引用文献

- 1) 文部科学省 (2008a) 「小学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, pp. 1 - 6 .
- 2) 文部科学省 (2008b) 「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, pp. 1 -10.
- 3) 国立教育政策研究所 (2015) 「平成 27 年度全国学力・学習状況調査報告書 (小学校理科)」 p. 8 .
(http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/psci_02.pdf)
【最終アクセス : 2015 年 10 月 19 日】
- 4) 国立教育政策研究所 (2015) 「平成 27 年度全国学力・学習状況調査報告書 (中学校理科)」 p. 8 .
(http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/msci_02.pdf)
【最終アクセス : 2015 年 10 月 19 日】
- 5) 松原静郎 (1997) 「表現力育成の意義とその効果」『中等化学教育における個人実験を通しての科学的表現力の育成に関する調査研究』平成 7 年度～ 8 年度科学研究費補助金 (基盤研究 B) 研究成果報告書 (代表 : 松原静郎, 課題番号 07458027), pp. 2 -14.
- 6) 平賀伸夫 (2004) 「科学的表現力の育成をねらいとした実験レポート作成に関する指導」『愛知教育大学研究報告』53 (教育科学編), pp. 115-122.
- 7) 松浦拓也 (2008) 「理科におけるレポート指導に関する基礎的研究 (Ⅱ)」『広島大学大学院教育学研究科紀要』第 57 巻, 第 2 号, pp. 1 - 5 .

- 8) 木下博義・福本伊都子・白神聖也(2012)「理科学習における観察・実験結果の考察に関する研究－小学生・中学生・高校生の比較を通して－」『広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部』第61号, pp. 9-15.
- 9) 前掲書5)
- 10) 前掲書6)
- 11) 前掲書7)
- 12) 同書
- 13) 清水誠・黒川昇・斉藤桃子(2013)「現象を科学的に説明する能力を高める学習指導法の研究－定型文の活用とその効果－」『科学教育研究』第37巻, 第1号, pp. 30-37.
- 14) 鮫島弘樹・清水誠(2015)「考察の記述の仕方を理解させる指導方法の研究－力と圧力の学習を事例に－」『埼玉大学紀要, 教育学部』第64巻, 第1号, pp. 93-102.
- 15) 木下博義・松浦拓也・角屋重樹(2007)「観察・実験活動における小学生のメタ認知育成に関する実践的研究－第5学年『もののとけ方』を例に－」『理科教育学研究』第48巻, 第1号, pp. 21-33.
- 16) 森本信也(2010)「『考える』ことを大切にした理科授業と学習活動」『理科の教育』59(4), 東洋館出版社, pp. 223-226.
- 17) 小林辰至(2010)「思考力・判断力・表現力等をはぐくむ理科の学習指導」『中等教育資料』ぎょうせい, pp. 10-15.
- 18) 文部科学省(2011)「小学校理科の観察, 実験の手引き」 pp. 8-16.

- 19) 角屋重樹 (2013) 「なぜ，理科を教えるのか－理科教育がわかる教科書－」文溪堂，pp. 30-34.
- 20) 宮本直樹 (2014) 「中学校理科における仮説設定とデータ解釈との関連－因果関係を踏まえた仮説の共有化，洗練化に着目して－」『理科教育学研究』第55巻，第3号，pp. 341-349.
- 21) 前掲書 1)
- 22) 木下博義・松浦拓也・清水欽也・寺本貴啓・角屋重樹 (2012) 「理科学習における観察・実験結果の考察に関する調査研究－中学生を対象とした質問紙調査をもとに－」『日本教科教育学会誌』第35巻，第1号，pp. 1-9.
- 23) 前掲書 15)
- 24) 前掲書 17)
- 25) 前掲書 19)
- 26) 有本秀文・吉田繁 (1997) 「科学の学習における論理的表現力の評価方法に関する研究」『中等化学教育における個人実験を通しての科学的表現力の育成に関する調査研究』科学研究費研究成果報告書 (代表：松原静郎，課題番号 07458027)，pp. 16-35.
- 27) 前掲書 5)
- 28) 前掲書 26)
- 29) 前掲書 13)
- 30) 前掲書 14)
- 31) 前掲書 20)

終章 本研究のまとめ及び今後の課題

本章では、まず、各章で明らかとなった成果を振り返りながら、本研究をまとめる。次に、本研究の成果に基づき、理科教育における現代的課題としての科学的な思考力の育成に有効な要素と教育実践への示唆を得る。最後に、今後の課題について述べる。

1. 本研究のまとめ

本研究の目的は、小学校において、4QSによる仮説設定とプロセス・スキルズの育成に着目した理科授業を実践することで、認知的側面（現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解）への効果を明らかにすることであった。また、それらの結果に基づき、科学的な思考力の育成のための指導方法を検討し、教育実践への示唆を得ることであった。

本節では、この目的を達成するために辿ったプロセスに即して、各章で得られた研究成果についてまとめる。

1-1. 本研究における問題の所在及び研究課題の設定

本論文は、小学校の理科授業において問題解決学習を行う際に、独立変数と従属変数の2変数の因果関係に基づいた仮説を児童自らが設定することが大変重要であることに着目し、適切な仮説を設定するための指導方略として、Cothron, Giese & Rezbe¹⁾が提唱した“The Four

Question Strategy”を基に、小林・永益²⁾が開発した仮説設定シート(4QS)を用いた授業を実践するとともに、その効果を明らかにしたものである。併せて、4QSの適用の可能性についても検討を加えたものである。

序章では、まず、問題の所在を明らかにした。具体的には、「理科教育の現代的課題としての科学的な思考力」、「科学的な思考力を育成する問題解決の活動」、「科学的な思考力としてのプロセス・スキルの重要性」、「問題解決の背景となる科学的推論の方法と仮説」、「仮説設定に関する先行研究」について調査・分析し、未だ解決されていない問題点や研究されていない指導方略を明らかにした。そして、こうした調査・分析により、本研究の目的及び分析方法を導出した。

次に、本研究の目的を達成するために、以下の3つの研究課題を設定した。1つめの研究課題は、「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデルを検討することであった。2つめの研究課題は、研究課題1によって得られた知見を基に、4QSの適用の可能性を検討することであった。3つめの研究課題は、研究課題1及び研究課題2によって得られた知見を基に、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、認知的側面(現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解)に与える効果を検証することであった。

上記の研究課題を解決するために、本研究では、以下の3つを研究方法として用いた。第1に、第6学年の児童を対象に質問紙調査を実施し、「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するとともに、諸要因の因果モデル

を検討するためのパス解析，及びパス図の作成を試みた。第2に，小・中学校の理科教科書（いずれも文部科学省検定済のX社の教科書）に掲載されている全ての観察・実験等の個々について4QSの適用の可能性を検討し，「4QSを用いて作業仮説を設定」，「4QSを用いないで説明仮説・作業仮説を設定」，「仮説なし」の3つのカテゴリーに分類した。第3に，4QSの適用が可能であると判断された実験において，授業実践及び質問紙調査を試みた。認知的側面（現象を科学的に説明する能力，及び科学的な知識の理解）に与える効果について，定量的かつ定性的な質問紙による事前，事後調査を行い，検証した。

1-2. 「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデルの検討（研究課題1で得られた成果）

第1章は，研究課題1に位置付くものである。第1章では，第6学年の児童を対象に質問紙調査を実施し，「仮説設定能力」に影響を及ぼす因子を同定するとともに，諸要因の因果モデルを検討するためのパス解析，及びパス図の作成を試みた。具体的には，小学生の理科における「仮説設定能力」に影響を及ぼす諸要因の因果モデルを明らかにするとともに，指導方法の考案に向けた示唆を得ることを目的とした。この目的を達成するために，まず，第6学年の児童322名を対象として，45項目からなる質問紙調査を実施し，「仮説設定能力」に影響を及ぼす5つの因子として「豊かな自然体験」，「理科への好感度」，「算数への好感度」，「自然や科学技術への興味・関心」，「実験技能に対する自信」を同定した。次に，「仮説設定

能力」を「変数の同定」と「因果関係の認識」の2つの観点で評価し、その回答を得点化した。そして、これら7つの変数についてパス図を作成し、パス解析を行った。その結果、以下の6点が明らかとなった。

- ①「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」は共変動し、「変数の同定」に影響を及ぼす因果モデルの初発の段階に位置している。
- ②「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」は、「実験技能に対する自信」に直接的影響を及ぼしている。
- ③「理科への好感度」は、「自然や科学技術への興味・関心」と「豊かな自然体験」から影響を受け、「算数への好感度」に直接的影響を及ぼしている。
- ④「算数への好感度」は、「自然や科学技術への興味・関心」と「理科への好感度」から影響を受け、「実験技能に対する自信」に直接的影響を及ぼしている。
- ⑤「実験技能に対する自信」は、「自然や科学技術への興味・関心」、「豊かな自然体験」及び「算数への好感度」から影響を受け、「変数の同定」に直接的影響を及ぼしている。
- ⑥「変数の同定」は、「因果関係の認識」に強い直接的影響を及ぼしている。

以上、第1章の研究において、小学生の理科における「仮説設定能力」を育成するためには、自然事象から同定した変数を因果関係として認識させ、仮説を文章で表現させる指導の可能性を裏付ける根拠と示唆を得ることができた。

1 - 3 . 4QS の適用の可能性の検討（研究課題 2 で得られた成果）

第 2 章は、研究課題 2 に位置付くものである。長谷川・吉田・関根・田代・五島・稲田・小林³⁾は、吉山・小林⁴⁾が分析した“Science- A Process Approach commentary for teachers” (SAPA) の 13 の上位スキルと 57 の下位スキルを基に、新たに開発した「探究の技能」の観点から、小・中学校の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等に含まれる探究の要素的技法を類型化し、各類型の特徴を明らかにしている。これらの知見を踏まえ、第 2 章では、小・中学校の理科教科書（いずれも文部科学省検定済の X 社の教科書）に掲載されている全ての観察・実験等の個々について 4QS の適用の可能性を検討し、「4QS を用いて作業仮説を設定」、「4QS を用いないで説明仮説・作業仮説を設定」、「仮説なし」の 3 つのカテゴリーに分類することを試みた。具体的には、長谷川らの観察・実験等の類型に基づいて、小・中学校の理科教科書（X 社）に掲載されている全ての観察・実験等について、因果関係の有無の観点から検討を行い、4QS の適用が可能かどうかを明確にするとともに、適用の仕方を具体的に示すことを目的とした。その結果、長谷川らの観察・実験等の類型は、4QS への適用という観点から見ると、いずれの校種においても 3 つのカテゴリーに集約することができた。そして、4QS の適用は、第 5 学年以降における条件の制御を伴う実験において、最も効果が期待できることが明確になった。また、因果関係を有する事象であっても、条件の制御を伴わない実験や、因果関係を想定し

ていない事物の観察においては、4QSの適用は適切でないことも明確になった。

以上、第2章の研究において得られた知見は、問題解決の能力や科学的な探究の能力を育成する理科授業を構想する際の基礎資料となることが期待される。

1-4. 4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導の効果の検証（研究課題3で得られた成果）

第3章、第4章及び第5章は、研究課題3に位置付くものである。

第3章では、第6学年「燃焼の仕組み」を題材として、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、燃焼現象を科学的に説明する能力、及び燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、第6学年「燃焼の仕組み」において、4QSを用いた実験群37人と、用いなかった統制群37人を対象とした授業実践及び学習前後の質問紙調査の分析を行った。その結果、実験群の方が、燃焼の仕組みに関する科学的な知識を高い水準で理解し維持できることが明らかとなった。また、燃焼現象を科学的に説明する能力の育成にも有効であることが示された。

第4章では、第5学年「振り子の運動」を題材として、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、振り子の運動に関する科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。こ

の目的を達成するために、第5学年「振り子の運動」において、4QSを用いた実験群39人と、用いなかった統制群39人を対象とした授業実践及び学習前後の質問紙調査の分析を行った。その結果、実験群の方が、振り子の運動に関する科学的な知識を高い水準で理解できることが示された。

第5章では、第6学年「てこの規則性」を題材として、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導が、考察の記述能力の育成に与える効果について検討することを目的とした。この目的を達成するために、第6学年「てこの規則性」において、4QSを用いた仮説設定と、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる1学級28人を実験群、4QSを用いた仮説設定のみを行った1学級28人を統制群とし、授業実践及びワークシートの記述内容の分析を行った。その結果、第5章で用いた指導方法は、考察の記述能力の育成に有効であることが示された。併せて、実験の結果を整理し考察する学習活動の充実を図るためには、教師が考察の構成要素を明示し、それを用いて具体的な記述の仕方を教授するとともに、児童自身に因果関係を踏まえた仮説を設定させる指導が必要である、という指導方法の改善に向けた示唆を得ることができた。

以上、第3章及び第4章の研究から、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、認知的側面（現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解）に与える効果を明らかにすることができた。さらに、第5章の研究から、4QSを用いた仮説設定と、因果

関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導は、考察の記述能力の育成に効果があるという結論を得ることができた。

2. 理科教育における現代的課題としての科学的な思考力の育成に有効な要素と教育実践への示唆

本節では、本研究で得られた成果に基づき、理科教育における現代的課題としての科学的な思考力の育成に有効な要素を整理するとともに、教育実践への示唆を得る。

第1に、小学生の理科における「仮説設定能力」を育成するためには、自然事象から同定した変数を因果関係として認識させる必要があるということである。第1章において、「仮説設定能力」に影響を及ぼす5つの因子（「豊かな自然体験」、「理科への好感度」、「算数への好感度」、「自然や科学技術への興味・関心」、「実験技能に対する自信」）の同定と、これらに基づく因果モデルの構造を明らかにした。

第2に、その具体的な指導方法として、4QSが有効であることである。第2章において、4QSの適用は、第5学年以降における条件の制御を伴う実験において可能になることが明らかとなった。

第3に、4QSを用いた仮説設定は、現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解に効果があることである。それは、第3章及び第4章において、4QSを適用し、児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が重要であることが明らかとなった。

第4に、因果関係を踏まえた仮説に照合して実験結果を解釈させる指導は、考察の記述能力の育成に効果があることである。第5章において、4QSを用いて仮説を設定させるとともに、教師が考察の構成要素を明示し、それ

を用いて具体的な記述の仕方を教授することにより可能になることが明らかとなった。

以上，本研究の成果に基づき，理科教育における現代的課題としての科学的な思考力の育成に有効な要素と教育実践への示唆を4点に整理して得た。

これらの示唆は，序章における問題の所在でも述べた，「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査教科別分析と改善点（小学校・理科）」⁵⁾，「平成24年度小学校学習指導要領実施状況調査教科別分析と改善点（理科）」⁶⁾及び「平成27年度全国学力・学習状況調査報告書（小学校理科）」⁷⁾などにおいて報告されている，「児童が自らの経験や学習履歴に基づいた予想や仮説を意識し，それに沿って計画的に実験を行うこと」，「予想を検証するために比較対照を設定したり，条件を制御したりすること」，「結果を分析し，問題や予想に照らし合わせて考察をすること」，「考察して分析した内容を記述すること」といった，教育現場が抱える課題の解決に大きく寄与すると考える。

3. 今後の課題

今後の課題を以下の2点にまとめる。

3-1. 授業実践に基づく事例研究の限界

第3章、第4章及び第5章は、第6学年「燃焼の仕組み」、第5学年「振り子の運動」及び第6学年「てこの規則性」といった、3つの授業実践に基づく事例研究の成果について述べたものである。しかしながら、このような授業実践による事例研究には限界があるため、今後、学習内容については「燃焼の仕組み」、「振り子の運動」及び「てこの規則性」以外の単元を、発達段階については小学校高学年以外の児童や、中・高等学校などの生徒を対象とした追加検証を行う必要がある。そうすることで、本研究の指導方法の効果について一般化を図ることができると思う。

3-2. 導出された結果の妥当性と信頼性の追認

第1章において、第6学年の児童322名を対象に、45項目からなる質問紙調査を実施したが、そこで導出された結果の妥当性と信頼性について検討を加えるために、第6学年以外の児童も対象とするなど、より大規模な質問紙調査による追試を行ったり、児童の居住地域（都市部と郡部）や性別に着目して分析をしたりする必要がある。

引用文献

- 1) Cothron, J. H., Giese, R. N., & Rezba, R. J. (2000). Science Experiments and Projects for Students, Kendall/Hunt Publishing Company, pp.21-35.
- 2) 小林辰至・永益泰彦 (2006)「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望－小学校教員志望学生の子ども頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価－」『科学教育研究』第30巻, 第3号, pp.185-193.
- 3) 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至 (2013)「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等の類型化とその探究的特徴－プロセス・スキルズを精選・統合して開発した「探究の技能」に基づいて－」『理科教育学研究』第54巻, 第2号, pp.225-247.
- 4) 吉山泰樹・小林辰至 (2011)「プロセス・スキルズの観点からみた観察・実験等の類型化－中学校理科教科書に掲載されている観察・実験等について－」『理科教育学研究』第52巻, 第1号, pp.107-119.
- 5) 国立教育政策研究所 (2005)「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査教科別分析と改善点(小学校・理科)」pp. 1 - 8.

(http://www.nier.go.jp/kaihatu/katei_h15/H15/03001040020007004.pdf)

【最終アクセス：2015年7月22日】

- 6) 国立教育政策研究所(2015)「平成24年度小学校学習指導要領実施状況調査教科別分析と改善点(理科)」pp. 1-10.

(http://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h24/04.pdf)

【最終アクセス：2015年7月27日】

- 7) 国立教育政策研究所(2015)「平成27年度全国学力・学習状況調査報告書(小学校理科)」pp. 8-9.

(http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/psci_02.pdf)

【最終アクセス：2015年10月19日】

附記

本論文の第1章は、以下の査読付き論文に基づき、加筆、再構成したものである。

山田貴之・小林辰至（2014）「小学生の理科における仮説設定能力に影響を及ぼす諸要因の因果モデル－第6学年の児童を対象とした質問紙調査の結果に基づいて－」日本理科教育学会編『理科教育学研究』第55巻，第3号，pp. 351-361.

本論文の第2章は、以下の査読付き論文に基づき、加筆、再構成したものである。

山田貴之・田代直幸・田中保樹・小林辰至（2015）「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における“The Four Question Strategy (4QS)”の適用の可能性に関する研究－自然事象に関わる因果関係の観点から－」日本理科教育学会編『理科教育学研究』第56巻，特集号（第1号），pp. 105-122.

本論文の第3章は、以下の査読付き論文に基づき、加筆、再構成したものである。

山田貴之・寺田光宏・長谷川敦司・稲田結美・小林辰至（2014）「児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果－第6学年『ものの燃え方と空気』を事例として－」日本理科教育学会編『理科教育学研究』第55巻，第2号，pp. 219-229.

謝辞

本研究の遂行ならびに本論文をまとめるにあたり，多くの方々から温かく多大なご指導，ご協力を賜りました。

本研究の主指導教員である上越教育大学教授 小林辰至先生には，浅学非才な私に，研究のテーマ設定や具体的方途，学会発表や投稿論文の執筆など，研究の進め方を基礎から丁寧に教えて頂きました。その中で，研究に行き詰まり，挫けそうになったことが多々ありましたが，小林先生は常に温かい励ましの言葉をかけ続けてくださいました。このような先生からの励ましのお言葉に何度も救われ，私の研究の大きな支えとなりました。このように論文としてまとめることができましたのは，先生のおかげであります。心より感謝申し上げます。

副指導教員である兵庫教育大学教授 松本伸示先生と庭瀬敬右先生，元副指導教員である北海道医療大学准教授（元上越教育大学准教授） 長谷川敦司先生には，本研究の意義や目的，調査方法などについて多くのご示唆を頂きました。貴重なご指導・ご意見を頂き，深く感謝申し上げます。また，上越教育大学教授 水落芳明先生，岡山大学教授 稲田佳彦先生，上越教育大学准教授 瀧崎智佳先生には，博士候補認定試験や学位論文審査会のときに，的確なご指導，ご助言を頂きましたこと，併せてお礼申し上げます。

研究の一環である授業実践では、私の勤務校であった岐阜県関市立倉知小学校の今井猛校長先生をはじめ、第5、6学年の先生方には、大変ご多忙の中、多大なご指導、ご協力を賜りました。そして、いつも理科の授業を楽しみにし、ひたむきな姿で授業に取り組んでくれた児童の皆様に心より感謝申し上げます。

3年間という限られた時間の中で、1つの研究を成し終えることができたのも、熱い議論を交わし合える小林研究室の頼もしい先輩や仲間の存在があったからです。この出会いは、私の一生の財産です。素晴らしい先輩や仲間との出会いに深く感謝致します。ありがとうございました。

今後、本研究を日々の授業実践に活かし、日本の理科教育の発展に少しでも貢献できればと願ってやみません。

最後に、本研究を進めるにあたり、いつも私の体調を気遣ってくれた妻に感謝の言葉を添えて謝辞と致します。

2016年1月24日

山田 貴之